



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS  
DEL NOROESTE, S.C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**FISIOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE *Origanum  
vulgare* L. EN DIFERENTES SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN Y DOSIS DE ABONO ORGÁNICO**

**TESIS**

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

**Luis Emiterio Morales Prado**

La Paz, Baja California Sur, septiembre de 2015

## ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 2 del mes de marzo de 2015, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**"FISIOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE *Origanum vulgare* L. EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCION Y DOSIS DE ABONO ORGÁNICO"**

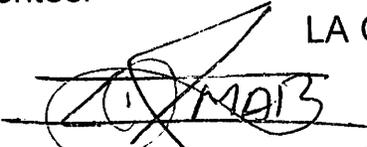
Presentada por el alumno:

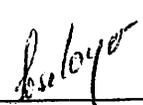
**Luis Emitterio Morales Prado**

Aspirante al Grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN: **Agricultura Sustentable**

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

LA COMISIÓN REVISORA

  
DR. BERNARDO MURILLO AMADOR  
DIRECTOR DE TESIS

  
DR. JOSÉ GUADALUPE LOYA RAMÍREZ  
CO-TUTOR

  
DRA. ALEJANDRA NIETO GARIBAY  
CO-TUTOR

  
DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA  
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO Y FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

## **COMITÉ TUTORIAL**

Dr. Bernardo Murillo Amador (Director de Tesis)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. José Guadalupe Loya Ramírez (Co-Tutor)

Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dra. Alejandra Nieto Garibay (Co-Tutor)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

## **COMITÉ REVISOR DE TESIS**

Dr. Bernardo Murillo Amador (Director de Tesis)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

Dr. José Guadalupe Loya Ramírez (Co-Tutor)

Universidad Autónoma de Baja California Sur

Dra. Alejandra Nieto Garibay (Co-Tutor)

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

## **JURADO DE EXAMEN DE GRADO**

Dr. Bernardo Murillo Amador

Dr. José Guadalupe Loya Ramírez

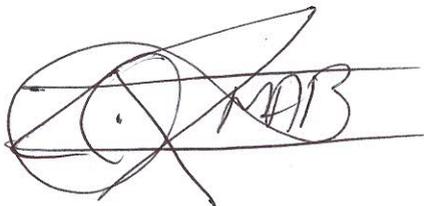
Dra. Alejandra Nieto Garibay

Suplente: Dr. Enrique Troyo Diéguez

## RESUMEN

Cualquier mejoramiento del sistema agrícola que resulte en una alta producción debe reducir los impactos ambientales negativos de la agricultura y mejorar la sustentabilidad del sistema. El objetivo de este trabajo fue investigar el efecto de dos diferentes sistemas de producción, campo abierto y malla sombra y cuatro dosis de bocashi, con el fin de encontrar la mejor opción ambiental en términos de rendimiento y características fisiológicas y morfométricas en orégano. Un cultivar de orégano se sembró en dos condiciones ambientales y cuatro dosis de bocashi en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y se evaluó la tasa de transpiración, la tasa fotosintética, conductividad estomática, clorofila, área foliar, temperatura de la hoja, peso fresco y seco de parte aérea, peso fresco y seco de raíz, rendimiento en peso fresco y seco. El presente estudio indicó que el orégano se adapta mejor a la condición de cultivo de malla sombra. Los resultados demostraron que las variables fisiológicas tales como la clorofila, la transpiración, la conductividad estomática, la fotosíntesis; el estado hídrico de la planta como el contenido relativo de agua, el contenido de agua foliar y el uso eficiente del agua, así como el potencial mátrico del suelo fueron mejores en malla sombra que en campo abierto. También el rendimiento en peso fresco y seco de parte aérea y de raíz, así como las variables morfométricas altura de planta, área foliar, longitud de parte aérea y de raíz, lograron valores superiores en la condición de malla sombra con respecto a la condición de campo abierto. Los resultados mostraron que la aplicación de bocashi incrementó significativamente el rendimiento y las variables fisiológicas y morfométricas. Todo indica que las plantas de orégano pueden crecer y desarrollarse mejor en malla sombra que en campo abierto y el bocashi puede ser considerado como una sustitución adecuada de los fertilizantes químicos en el desarrollo sustentable de la producción de hierbas aromáticas.

**PALABRAS CLAVE:** *Origanum vulgare*, sistemas de producción, bocashi, rendimiento, uso eficiente de agua.



**Vo. Bo.** \_\_\_\_\_

**Dr. Bernardo Murillo Amador**

Director de Tesis

## ABSTRACT

Any improvement in agricultural system that results in higher production should reduce the negative environmental impact of agriculture and enhance the sustainability of the system. The aim of this research was to investigate the effect of two different production systems, open-field and shade-enclosure, and four bocashi doses, to find the best environmental option in terms of yield, physiological and morphometric characteristics in oregano. One cultivar of oregano was grown under two environmental conditions and four bocashi doses in a completely randomized block design with four replications and evaluated for photosynthetic and transpiration rate, stomatal conductance, chlorophyll, leaf area and temperature, aerial and roots fresh and dry biomass, fresh and dry yield. The present study indicates that oregano adapted best to the shade-enclosure. Our results demonstrated that physiological variables such as chlorophyll, relative water content, leaf water content, soil matric potential, transpiration, stomatal conductance, photosynthesis and water use efficiency perform better under shade enclosure. Also, yield fresh and dry weight and morphometric characteristics such as plant height, leaf area, aerial shoot length, fresh and dry weight, roots length, fresh and dry weight achieve better under shade-enclosure than open-field. The results showed that the application of bocashi, significantly improve yield, physiological and morphometric variables. It seems that oregano plants can be grown and perform better under shade-enclosure than open-field and bocashi can be considered as a suitable substitution for chemical fertilizers in developing sustainable herbs plant production systems.

**KEY WORDS:** *Origanum vulgare*, production systems, bocashi, yield, water use efficiency.

## DEDICATORIA

A mis padres (Faustino Morales Herrera y Georgina Prado Bautista) y hermanos (Erika Teresa, Blanca Leticia, Juan Javier y Valentín Morales Prado). Por su apoyo, comprensión y paciencia en el lapso de esta investigación, los cuales fueron el motivo que me inspiró para superarme.

A mi prometida Nelva María Espinoza Chollet, por su apoyo y paciencia en esta etapa y en todo momento.

A toda mi familia por creer en mí.

A mi familia que partió en este par de años dejando un hueco irreparable e inconsolable, José Prado Silva†, Ofelia Maricela Villanueva Rodríguez†, José Luis García Prado†, Raúl Guillermo Arroyo Prado† e Israel Prado Villanueva†

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por permitirme llegar a una etapa más en vida y por su protección.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR)

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para llevar a cabo los estudios de mi maestría. Beca # 484525

Al Dr. Bernardo Murillo Amador, por haber creído en mí y por apoyarme en la toda mi formación académica, que sin su ayuda no podría haber concluido este trabajo.

A la Dra. Alejandra Nieto Garibay, por su apoyo y dedicación a lo largo de este proceso de maestría.

Al Dr. José Guadalupe Loya Ramírez, por su gran apoyo y dedicación en este trabajo además de darme la oportunidad de iniciarme en la investigación.

Al Dr. Ramón Jaime Holguín Peña, por su ayuda en el financiamiento de salidas al campo.

Al personal del campo agrícola campo Comitán, Miguel Díaz Ramírez, Pedro Luna García, Adrián Jordán, José Raymundo Ceseña, Luis Landa Hernández y en especial a Saúl Edel Briseño Ruiz que gracias a su ayuda se llevó a cabo el trabajo en campo.

Al laboratorio de Fisiotecnia Vegetal y su personal María del Carmen Mercado Guido y Lidia Hiraes Lucero por su valiosa ayuda.

Al laboratorio de Biotecnología Vegetal y su personal Margarito Rodríguez Álvarez y Sergio Real Cosío.

Al laboratorio de Edafología, Manuel Salvador Trasviña Castro.

A mis compañeros de Maestría por todos los momentos gratos que vivimos tanto dentro del CIBNOR como fuera, en especial a Dalia (Pipina), Bryan, Samuel y Raziél, muchas gracias compañeros por su apoyo y enseñanza en este par de años y sobre todo por sus consejos.

A mis mejores amigos Rodolfo Alberto Sosa y Silva y en especial a David Hernández Vázquez por haberme animado a presentar el examen de maestría, muchas gracias AMIGOS.

Esta investigación se realizó con los apoyos de los proyectos SAGARPA-CONACYT 2009 126183 y SEP-CONACYT 236240.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>IV</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>4</b>
2.1.    LAS HIERBAS AROMÁTICAS.....	4
2.2.    EL ORÉGANO: ORIGEN, IMPORTANCIA, USOS, QUÍMICA Y BIOLOGÍA DE LA PLANTA, CONTENIDO DE ACEITES .....	4
2.3.    EL ORÉGANO EN MÉXICO.....	5
2.4.    EL ORÉGANO EN BAJA CALIFORNIA SUR.....	6
2.5.    SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN MALLA SOMBRA Y A CAMPO ABIERTO .....	7
2.6.    EL USO DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA: EL BOCASHI.....	7
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>10</b>
<b>5. OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>10</b>
5.1. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	10
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>11</b>
6.1.    LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	11
6.2.    MATERIAL VEGETATIVO Y DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	12
6.3.    ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DEL BOCASHI.....	13
6.4.    VARIABLES FISIOLÓGICAS.....	13
6.5.    MEDICIONES CON SPAD-502 .....	14
6.6.    CLOROFILA A, B Y TOTAL .....	15
6.7.    VARIABLES MORFOMÉTRICAS .....	15
6.8.    RENDIMIENTO .....	16
6.9.    DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	16
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>17</b>
7.1.    VARIABLES FISIOLÓGICAS.....	17
7.2.    CLOROFILA A, B Y TOTAL.....	20
7.3.    VALORES INDIRECTOS DE CLOROFILA (SPAD-502).....	26
7.4.    VARIABLES MORFOMÉTRICAS .....	28

7.5.	RENDIMIENTO.....	34
<b>8.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>9.</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>45</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de varianza para temperatura de la hoja y características fisiológicas de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	22
Tabla 2. Análisis de varianza para contenido relativo de agua, potencial hídrico de la hoja y potencial mátrico del suelo en orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	22
Tabla 3. Valores promedio de temperatura de la hoja, potencial mátrico del suelo y características fisiológicas de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto). .....	23
Tabla 4. Valores promedio de temperatura de la hoja y características fisiológicas de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	23
Tabla 5. Valores promedio de potencial mátrico del suelo y características fisiológicas de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	23
Tabla 6. Valores promedio de potencial hídrico de la hoja y conductividad estomática de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	24
Tabla 7. Valores promedio de potencial mátrico del suelo y características fisiológicas de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	24
Tabla 8. Análisis de varianza para clorofilas a, b y total de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	25
Tabla 9. Valores promedio de clorofilas a, b y total de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto). .....	25
Tabla 10. Valores promedio de clorofila a, b y total de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	25
Tabla 11. Valores promedio de clorofilas a, b y total de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). .....	26

Tabla 12. Análisis de varianza para valores indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ).....	27
Tabla 13. Valores promedio indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).....	27
Tabla 14. Valores promedio indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ).....	27
Tabla 15. Valores promedio indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). ....	27
Tabla 16. Análisis de varianza para características morfométricas de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ).....	31
Tabla 17. Valores promedio de características morfométricas de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).....	32
Tabla 18. Valores promedio de características morfométricas de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ).....	32
Tabla 19. Valores promedio de características morfométricas de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). ....	33
Tabla 20. Análisis de varianza para rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ).....	35
Tabla 21. Valores promedio de rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).....	35
Tabla 22. Valores promedio de rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ).....	35
Tabla 23. Valores promedio de rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha <sup>-1</sup> ). ....	36

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Localización del sitio de estudio denominado Rancho Los Arados,  
Municipio de La Paz, Baja California Sur ..... 11

## 1. INTRODUCCIÓN

Las hierbas aromáticas son aquellas plantas que cuentan al menos con una de las siguientes propiedades, tienen aroma, son condimentarias o tienen cualidades medicinales. La esencia se usa como aromatizante y saborizante, en farmacia, en alimentación, licorería, repostería y culinaria. El sector de las hierbas aromáticas se divide en dos grupos, hierbas frescas para uso culinario y hierbas procesadas para uso medicinal, perfumería y otros (Céspedes *et al.*, 2010).

El orégano es una de las especies aromáticas más usada en el mundo, su nombre "orégano" comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, con flores y hojas que presentan un olor característico a "especioso". Las hojas secas del *Origanum vulgare*, nativo de Europa y del *Lippia graveolens*, nativo de México, son de uso culinario común (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013). El orégano se distribuye ampliamente en la cuenca mediterránea y se usa como una hierba picante con el nombre de "Greek orégano". El orégano es de gran importancia económica pero esto no solo se relaciona con su uso como especie, ya que posee características antimicrobianas, citotóxicas, antioxidantes y actividad anti fúngica (Murillo-Amador *et al.*, 2013). El orégano es una de las riquezas florísticas con las que cuenta el territorio mexicano; se conoce su utilización desde tiempos ancestrales como planta medicinal y como condimento de platillos regionales. Por lo tanto, el orégano se ubica dentro de las hierbas aromáticas y medicinales de gran interés en cuanto a su aprovechamiento en la industria farmacéutica, cosmética, perfumera y alimentaria, y es una alternativa a los cultivos tradicionales, con especies de gran demanda en el mercado actual a nivel mundial (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013).

Recientemente, la producción orgánica ha cobrado relevancia frente a la toma de conciencia de la población de los riesgos generados sobre la salud y el medio ambiente por el uso inadecuado de los recursos naturales, además de la tendencia creciente de la población mundial y la presión sobre la tierra, el agotamiento evidente de los suelos, la desaparición de algunas cadenas alimentarias y las limitaciones económicas a las que están

sometidos la mayoría de los pequeños productores. En este contexto, la producción orgánica surge como una alternativa a los problemas que enfrentan los productores de la agricultura convencional (Murillo-Amador *et al.*, 2006). La producción de orgánicos es de gran diversidad, ya que se tienen cultivos como granos, cereales, frutas, verduras, especias y hierbas aromáticas.

La agricultura orgánica que se caracteriza por excluir el uso de productos de síntesis química (fertilizantes y plaguicidas en general), es una de las pocas alternativas productivas que se están considerando en el campo mexicano (Gómez-Tovar y Gómez-Cruz, 2004). Por lo tanto, la población tiene la necesidad de buscar alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura orgánica, se le da gran importancia a los abonos orgánicos y cada vez más productores están utilizando estos abonos en cultivos intensivos. Debido a la necesidad que se tiene por mejorar sus características físico-químicas y biológicas del suelo, en este sentido, este tipo de abonos juega un papel importante ya que se aumenta la capacidad que posee el suelo por absorber los distintos elementos nutritivos (Leveau-Tuanama, 2009).

El bocashi es un abono comúnmente utilizado en centroamérica, cuya receta tiene origen Japonés, pero ha sido adaptada por los productores para su uso local. Actualmente, el bocashi se considera como una receta que busca estimular las poblaciones microbianas en el abono, que mezcla en general materias primas de partícula pequeña (granza, gallinaza, carbón picado, semolina, suelo, etc.), que evita temperaturas mayores a los 45-50 °C, que se humedece solamente al inicio, y que se va secando mediante volteo frecuente, hasta estar listo para su almacenaje en una o dos semanas. El bocashi presenta la característica de que por ser un material sin terminar de compostar, al ser humedecido de nuevo vuelve a incrementar la temperatura, por lo que no se debe aplicar cerca de las plantas o las semillas. (Soto y Meléndez, 2004). La elaboración de la composta tipo bocashi se basa en procesos de descomposición aeróbica de los residuos orgánicos y temperaturas controladas orgánicas a través de poblaciones de microorganismos existentes en los propios residuos, que en condiciones favorables producen un material parcialmente estable de lenta descomposición (García-Rojas, 2011). El bocashi mantiene un mayor contenido energético de la masa orgánica, pues al no alcanzar temperaturas tan elevadas hay menos pérdidas por

volatilización. Además, suministra organocompuestos (vitaminas, aminoácidos, ácido orgánico, enzimas y sustancias antioxidantes) directamente a las plantas y al mismo tiempo activa los micro y macroorganismos benéficos durante el proceso de fermentación. También ayuda en la formación de la estructura de los agregados del suelo (Masaki *et al.*, 2000).

La producción de hierbas aromáticas puede diferir de acuerdo al sistema en el que se encuentre, por ello la importancia de estudiar los diferentes microclimas que se generan cuando se utiliza un invernadero o los sistemas de producción a campo abierto. Las condiciones de invernadero y campo abierto tienen diferentes periodos de crecimiento y respuesta, ya que en campo abierto, la mayoría de las plantas reciben más luz solar que en realidad pueden utilizar para la fotosíntesis, mientras que en invernadero la luz es uno de los factores importantes que influyen en el microclima de productividad de las plantas, aparte de la temperatura, humedad relativa y la concentración de CO<sub>2</sub> (Murillo-Amador *et al.*, 2013).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Las hierbas aromáticas

La historia de las plantas aromáticas está ligada a la de las plantas medicinales. Papiros y grabados atestiguan que los egipcios la usaban hace 5000 años. El anís, el comino, el cilantro y la menta figuraban en recetas de pociones y otros bálsamos. Por tablillas de arcilla sumerias se ha podido saber que los habitantes de la antigua Mesopotamia cultivaban hinojo, tomillo y cilantro. En la Edad Media, las plantas aromáticas se utilizaban en gran medida, en buena parte para enmascarar el olor de los alimentos, especialmente de la carne, cuya frescura no siempre estaba garantizada. Con el desarrollo de las técnicas científicas, se confirman muchas propiedades medicinales de las plantas, que hasta entonces sólo se suponían (Villegas-Espinoza *et al.*, 2013). Las plantas aromáticas y medicinales conforman una lista amplia y diversa de especies, muchas de las cuales no tienen un único uso. Así pues, existen diferentes ámbitos de utilización, en medicina, alimentación, perfumería, cosmética, decoración, ambientación, protección de vegetales, agricultura y apicultura, son algunos de los principales usos (Restrepo *et al.*, 2012).

### 2.2. El orégano: origen, importancia, usos, química y biología de la planta, contenido de aceites

El nombre genérico *Origanum* deriva del griego “oros” y “ganos”, que significa adorno o alegría de la montaña, por su aspecto y aroma agradables cuando la planta está en flor; el nombre específico, “vulgare”, indica la relativa facilidad con que la podemos encontrar. El orégano comprende varias especies de plantas que se utilizan con fines culinarios, siendo las más comunes el *Origanum vulgare*, nativo de Europa y el *Lippia graveolens*, originario de México (Arcila *et al.*, 2004). El orégano es una de las riquezas florísticas con las que cuenta el territorio mexicano; se conocen sus usos desde tiempos ancestrales como planta medicinal y como condimento de platillos regionales (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013). El

orégano es una planta de amplios usos, gastronómico, su uso práctico en cocina es aromatizante de los platillos como condimento, aderezo, aromatizante de sopas, carnes, pescados, ensaladas, conservas y vinagre, dentro del uso medicinal se encuentra útil para aliviar el asma, resfriados o afecciones respiratorias, para combatir la laringitis y la amigdalitis, con propiedades digestivas y alivia dolores musculares y otro uso es cosmético como aceite esencial ya que se utiliza en la farmacia para preparar bálsamos antirreumáticos, pomadas para la dermatitis y como desinfectante y cicatrizante. En perfumería, jabonería y cosmética (Villegas-Espinoza *et al.*, 2013). Sobre la composición química del orégano y sus aceites esenciales se han identificado flavonoides como la apigenina y la luteolina, agliconas, alcoholes alifáticos, compuestos terpénicos y derivados del fenilpropano. En *Origanum vulgare* se han encontrado ácidos coumérico, ferúlico, caféico, r-hidroxibenzóico y vainillínico. También contiene flavonoides como naringenina y pinocembrina, lapachenol e icterogenina (Acevedo *et al.*, 2013). La planta del *Origanum vulgare* es una hierba perenne, pertenece a la familia de las Lamiáceas sus tallos son ramificados, por lo cual parece un pequeño arbusto. Los tallos a menudo presentan un color rojizo y alcanzan alturas alrededor de los 40 cm. Las hojas se disponen de manera opuesta, presentan forma oval y son pequeñas, habitualmente miden entre 5 y 15 mm. Las hojas de esta planta presentan vellosidades por el envés. Presenta pequeñas flores, habitualmente de color blanco aunque en algunas ocasiones son de color rosado o lila, estas flores están agrupadas en una inflorescencia (conjunto de flores) apical (en la punta del tallo) (Aguilar-Murillo *et al.*, 2013).

### **2.3. El orégano en México**

En al menos 24 Entidades Federativas de la República Mexicana, se conocen aproximadamente 40 especies de plantas en estado silvestre, popularmente conocidas como “orégano” pertenecientes a cuatro familias botánicas, Asteraceae (Compositae), Lamiaceae (Labiatae), Fabaceae (Leguminosae) y Verbenaceae. La planta de orégano se distribuye ampliamente en zonas tropicales, templadas áridas y semiáridas (García-Valenzuela, 2012).

La mayoría de las especies de orégano poseen notables propiedades medicinales, que se explican por la extraordinaria y compleja composición química que tienen estas plantas. En la práctica terapéutica (herbolaria) las especies de orégano europeas (*Origanum* spp.) y las mexicanas (*Lippia* spp.) se administran para las mismas dolencias (Huerta, 1997). México es uno de los países con mayor producción y exportación de orégano en el mundo, superado solo por Turquía (Corella y Ortega, 2013). La región conformada por los Estados de Chihuahua, Durango, Tamaulipas y Coahuila, es en donde se localizan las principales áreas productoras de orégano, mismas que concentran el 50% de los permisos autorizados para el aprovechamiento. Le siguen en orden de importancia los Estados de Jalisco, Zacatecas, Durango, Querétaro, Sinaloa, Hidalgo y Baja California Sur (Huerta, 1997).

#### **2.4. El orégano en Baja California Sur**

En el Noroeste de México, el orégano del genero *Lippia* spp. es la especie que más se comercializa debido a su abundancia y su distribución. Se localiza en cerros y laderas de la península de Baja California y en los Estados de Sonora y Sinaloa (CONAFOR, 2011). El orégano en Baja California Sur es común encontrarlo en diversas áreas desde lugares húmedos como la Región Del Cabo y otros áridos como en los Municipios de Comondú y Mulegé. En otras Entidades Federativas de México, se encuentra en los suelos arenosos o basálticos, arcillosos y en suelos rocosos o con fondos arenosos; se encuentra también en colinas abiertas y mesas y en las estribaciones de las colinas de la zona del Estado de Sonora, la Península de Baja California e islas adyacentes, así como en la parte central de los Estados de Sonora y Sinaloa (Sepúlveda, 2012). El Estado de Baja California Sur en el año 2013 mantuvo una superficie cultivada de 15 ha de orégano, que produjeron alrededor de 38.3 toneladas de producto y con valor estimado en el mercado de 819.66 mil pesos (SIAP, 2015).

## **2.5. Sistemas de producción en malla sombra y campo abierto**

Actualmente la agricultura, además de la producción a campo abierto, se practica una amplia variedad de ambientes controlados, entre los que destacan los invernaderos con o sin control ambiental, debido a ello la agricultura protegida se ha desarrollado en forma acelerada. De esta forma, el empleo de invernaderos y la agricultura protegida están contribuyendo ampliamente en la producción de alimentos y en el desarrollo de varias zonas agrícolas en México (Juárez-López *et al.*, 2011). En la agricultura protegida se tienen la casa sombra y/o malla sombra que son estructuras que se emplean para disminuir la cantidad de energía radiante que llega a los cultivos. Las mallas no solo se utilizan como elemento de sombreo, sino que ofrecen protección contra insectos, viento, arena, granizo y heladas de baja intensidad, aumentando la probabilidad de mayores rendimientos y mejor calidad de frutos, propician temperaturas más bajas y porcentaje de sombreo constante. El uso de la malla sombra en la producción agrícola se basa principalmente en la necesidad de una mayor área de ventilación, lo que derivó en la sustitución de la cubierta plástica por una cubierta porosa. Esto supone una mayor área de intercambio de aire y con ello, reducir 3° C de temperatura y un nivel conveniente de dióxido de carbono (Jasso-Chaverría *et al.*, 2012).

## **2.6. El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola: el bocashi**

Los suelos de Baja California Sur se caracterizan por su bajo contenido de materia orgánica (menos del 1%) (Nieto-Garibay *et al.*, 2013), por lo tanto, la aplicación de fertilizantes es de suma importancia para el desarrollo de las plantas, especialmente fertilizantes o abonos orgánicos, debido a que en el Estado existen superficies certificadas para la producción de cultivos orgánicos dado el aislamiento con otras regiones del país (Real-Cosío *et al.*, 2012). Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, químicas y biológicas, se obtienen a partir de un proceso biológico en el cual la materia

orgánica es degradada en un material relativamente estable parecido al humus, la importancia de los abonos orgánicos radica además de la mejora de propiedades físicas y bioquímicas que le confiere al suelo, en la necesidad de disminuir el abuso o dependencia de los productos químicos artificiales, por lo que se deben buscar alternativas de control fiables y sostenibles. Los abonos orgánicos fermentados del tipo “Bocashi”, término japonés que significa “fermentación suave”, son ricos en nutrientes para la planta e incorporan gran cantidad de microorganismos benéficos. Se diferencia de otros abonos orgánicos porque requiere de menos tiempo de elaboración (Gutiérrez *et al.*, 2012).

Según Gutiérrez *et al.* (2012) algunas propiedades químicas y biológicas que se le pueden atribuir a los abonos orgánicos son:

- Mejorar la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.
- Mejorar la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación.
- Disminuir la erosión del suelo, tanto de agua como de viento.
- Aumentar la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, reteniendo agua durante más tiempo.
- Aumentar el poder tampón del suelo y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste.
- Aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que se aumenta la fertilidad.
- Favorecer la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios.
- Constituir una fuente de energía para los microorganismos, debido a que presentan materia orgánica, fuente de energía para el crecimiento de las plantas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existe una fuerte demanda por las hierbas aromáticas a nivel internacional, principalmente por su importancia tanto en su uso culinario, medicinal y por el contenido de sus aceites esenciales. En Baja California Sur, el orégano es uno de los principales cultivos aromáticos, por lo que es de vital importancia encontrar o concebir un método que permita una mejor producción de estos cultivos. La fertilización para los cultivos orgánicos es de fuente escasa por las limitantes que se establecen de parte de los certificadores, un fertilizante originado de un abono orgánico es el bocashi, la aplicación de este o cualquier otro abono orgánico precisan conocer que dosis es la que más se adecua a los suelos de ciertas regiones del Estado, por lo tanto, se deben evaluar diferentes dosis de este en los sistemas de producción más comunes que se utilizan en la entidad, siendo uno de ellos, a campo abierto y el otro en malla sombra, lo cual genera condiciones diferentes y favorables para la planta.

#### 4. HIPÓTESIS

Si las plantas responden diferencialmente a condiciones micro climáticas, se espera que *Origanum vulgare* incremente su crecimiento, rendimiento y mejore sus características fisiológicas en malla sombra y que al menos una dosis de bocashi muestre un efecto benéfico en dichas variables, independientemente de la condición de cultivo.

#### 5. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el crecimiento, rendimiento y características fisiológicas de plantas de *Origanum vulgare* L. sometidas a diferentes dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>) y sistemas de producción (malla sombra y campo abierto).

##### 5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar variables morfométricas y rendimiento en plantas de *Origanum vulgare* L. sometidas a diferentes dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>) y sistemas de producción (malla sombra y campo abierto).
- Evaluar características fisiológicas, fotosíntesis, transpiración, clorofila, contenido relativo de agua, potencial hídrico en plantas de *Origanum vulgare* L. sometidas a diferentes dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>) y sistemas de producción (malla sombra y campo abierto).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1. Localización del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el Rancho Los Arados, localizado en una zona semiárida del Estado de Baja California Sur (BCS), localizado geográficamente en 24° 47' 12.38" Norte y 111° 11' 21.53" Oeste, a 131 m sobre el nivel del mar (Fig. 1). El cultivo se llevó a cabo en dos sistemas de producción, campo abierto y malla sombra. Las temperaturas promedio, máxima y mínima en el sistema de producción de campo abierto fueron de 25.3, 42.4 y 8.1° C con 65% de humedad relativa y en el sistema de malla sombra fueron de 27.0, 48.5 y 6.3° C con 53% de humedad relativa durante el periodo de cultivo del orégano (agosto a diciembre de 2013). Los datos meteorológicos se obtuvieron de una estación meteorológica ubicada en el área de estudio (Vantage Pro2 Davis® Instruments, USA). El sitio experimental tiene un clima considerado como semiárido Bw (h´) hw (e) y con vegetación xerófila (García, 1981). Los suelos están caracterizados de buena condición de aireación y penetrabilidad para las raíces de las plantas y baja retención de agua, con alto contenido de arena, pH neutro en la superficie y ligeramente alcalino entre los 20 a los 60 cm de profundidad, con contenido de material orgánica bajo (menos del 1%).

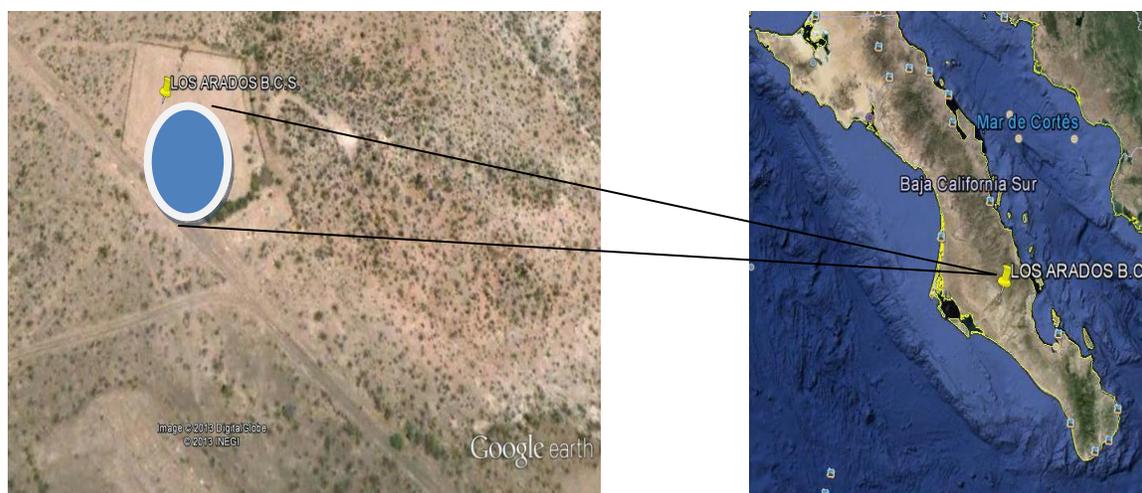


Figura 1. Localización del sitio de estudio denominado Rancho Los Arados, Municipio de La Paz, Baja California Sur.

## **6.2. Material vegetativo y descripción del sitio experimental**

Se utilizó un cultivar regional de orégano al que se le midieron características morfológicas y fisiológicas en dos ambientes separados, campo abierto y malla sombra. En el mes de mayo de 2013, las semillas de orégano se sembraron en condiciones de malla sombra (35° C día/24° C noche) durante aproximadamente 60 días en un fotoperiodo natural (latitud de 24°47' 12.38" N). Las plántulas se fertilizaron cada 5 días con una solución nutritiva de Hoagland's (Hoagland y Arnon, 1950) y se regaron de acuerdo a las necesidades de las plántulas.

El día 1 de agosto de 2013, las plántulas se trasplantaron en cada una de las condiciones ambientales de malla sombra y en campo abierto, a 30 cm entre plantas y 80 cm entre surcos, con una densidad de plantación de 42,000 plantas ha<sup>-1</sup>. Previamente, el terreno se preparó con dos pasos de arado y dos rastreos cruzados, se niveló y se formaron los surcos para el trasplante. En la malla sombra se utilizó el modelo de malla de 1610 PME CR, esto es, 16x10 cm<sup>-2</sup> con agujeros de 0.4 x 0.8 mm, de color cristal, con 40% de sombreo de un material llamado monofilamento de polietileno estabilizado.

Las dosis de bocashi se aleatorizaron dentro de las parcelas, las cuales se replicaron cuatro veces en un diseño de bloques completos al azar. El riego se aplicó de manera fraccionada en las parcelas, las cuales recibían entre 3 y 4 mm de agua por semana en el sistema de malla sombra y campo abierto, respectivamente. El promedio de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) fue de 2393 y 2398  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en el sistema de campo abierto y malla sombra, respectivamente, durante el periodo de crecimiento. Las plantas se regaron adecuadamente y se protegieron de plagas y enfermedades durante el periodo de cultivo, de acuerdo con las prácticas que aplican los productores orgánicos de la región.

### 6.3. Origen y características del bocashi

El bocashi se elaboró en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., en el año 2011, localizado en la Ciudad de La Paz, en una zona semiárida del Estado de Baja California Sur del noroeste de México (24°08' 09.73" N, 110°25' 41.73" W), 7 m sobre el nivel del mar. Las características químicas del bocashi fueron las siguientes, pH promedio de 8.26, conductividad eléctrica de 7.86 dS m<sup>-1</sup>, contenido de materia orgánica de 4.4%, contenido de calcio de 601.2 mg kg<sup>-1</sup>, magnesio de 121.56 mg kg<sup>-1</sup>, fosforo soluble de 551.6 mg kg<sup>-1</sup>, solidos totales disueltos de 4.21 g L<sup>-1</sup> y una salinidad de 4.3%.

### 6.4. Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas se midieron en tres ocasiones durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2013. Las mediciones de intercambio gaseoso para la tasa neta de asimilación de CO<sub>2</sub> (A, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), conductividad estomática (Gs, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) y la tasa de transpiración (E, mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) a las 10:00 y 13:00 horas, con 4 repeticiones, en días soleados, ubicando una planta sana, con hojas turgentes, planas y uniformes en color y tamaño. La eficiencia del uso del agua (EUA) se calculó al dividir A/E (μmol CO<sub>2</sub> μmol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O) (Galmés *et al.*, 2007). Todas las mediciones se realizaron tanto en campo abierto como en malla sombra con una saturación de luz (800 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> sobre la banda de la radiación fotosintéticamente activa) utilizando para ello, un analizador portátil de gas infrarrojo LCI Photosynthesis System (ADC<sup>®</sup> Bioscientific Ltd., England). Durante las mediciones, las condiciones climáticas de la cámara de la hoja se establecieron cerca de las condiciones de campo abierto o malla sombra, respectivamente; por ejemplo, la concentración de CO<sub>2</sub> fue de 375.5 ± 7.2 y 363.3 ± 2.5 μmol mol<sup>-2</sup> en malla sombra y campo abierto, respectivamente. La temperatura de la hoja fue de 32 ± 1.5 y 36.8 ± 0.9°C en malla sombra y campo abierto, respectivamente. El potencial hídrico de la hoja (PHH) se midió en tres ocasiones, septiembre, octubre y noviembre de 2013, utilizando un psicrómetro (WP4-T, Decagon<sup>®</sup> Devices, Pullman, Washington, EE.UU.), seleccionando previamente una planta por tratamiento, con hojas maduras, las cuales estaban expuestas

directamente a la luz solar por lo menos 1 h antes de la medición. El potencial mátrico del suelo (PMS) se midió en tres ocasiones (septiembre, octubre y noviembre de 2013). Al momento del muestreo, la superficie del suelo se limpió y se extrajo la muestra a 2 cm de profundidad y a 1 cm de distancia del tallo de la planta; las muestras de suelo se introdujeron en charolas de plástico de 4 cm de diámetro por 1 cm de altura, se cubrieron y se introdujeron en una hielera para posteriormente trasladarse al laboratorio en donde se midió el PMS utilizando un psicrómetro (WP4-T, Decagon<sup>®</sup> Devices, Pullman, Washington, USA).

### **6.5. Mediciones con SPAD-502**

La cantidad relativa de clorofila de la hoja se midió en tres ocasiones (septiembre, octubre y noviembre de 2013) con un medidor portátil de doble longitud de onda (SPAD 502, Minolta<sup>®</sup> Camera Co., Ltd., Japan). Los datos se tomaron en un horario comprendido entre las 08:00 y las 10:00 h. Se seleccionaron hojas de plantas sanas, turgentes y uniformes en color y tamaño. Se midieron un total de 300 hojas. Todas las hojas a las cuales se les midió la cantidad relativa de clorofila se usaron para medir la clorofila en laboratorio. Después de limpiar la superficie de las hojas seleccionadas, en cada hoja, se tomaron seis lecturas con el SPAD. Las seis lecturas por hoja (36 mm<sup>2</sup> de área total medida) se promediaron para obtener una sola observación por hoja. Este procedimiento se siguió para promediar la heterogeneidad de la distribución de la clorofila en la superficie de la hoja (MacNicol *et al.*, 1976). Antes de tomar cada lectura, el SPAD se ajustó a cero sin ninguna muestra en la caja de muestreo, presionando el mismo botón que se usa para coleccionar los datos. Mientras se registraban las lecturas con el SPAD, se tuvo cuidado que el sensor cubriera totalmente la lámina de la hoja, evitando que las venas laterales y centrales de la hoja interfirieran en la toma de las lecturas.

### **6.6. Clorofila a, b y total**

La clorofila se midió en tres ocasiones (septiembre, octubre y noviembre de 2013). Después de la medición con el SPAD, se tomaron tres discos de la misma hoja con un área total de 3.9 cm<sup>2</sup>, dichos círculos se obtuvieron mediante un sacabocados, inmediatamente se maceraron y se introdujeron en un tubo de ensayo con 20 mL de acetona al 80% y se transportaron en una hielera al laboratorio de fisiotecnia vegetal, los cuales se colocaron en una rejilla y se mantuvieron en completa oscuridad por un periodo de 72 horas antes de medir la absorbancia con un espectrofotómetro (Spectronic Unicomp<sup>®</sup>, Cambridge, Reino Unido). Antes de la medición de absorbancia, los extractos de los pigmentos se centrifugaron durante 3 a 5 min en tubos de vidrio para hacer el extracto totalmente transparente. La absorbancia de los extractos de hoja se midieron a 645 nm y 663 nm y el contenido total de clorofila (Chl a + Chl b) se determinó por el método de Arnon (1949) y se expresó en función del peso y el área foliar (mg cm<sup>-2</sup>).

### **6.7. Variables morfológicas**

La altura de la planta (cm) se midió en dos ocasiones (septiembre y octubre de 2013) tomando como base la superficie del suelo hasta la punta del tallo floral más alto. Se midió esta variable durante el período de crecimiento de tres plantas seleccionadas previamente y etiquetadas del cual posteriormente se obtuvo un promedio. Al término del experimento se tomaron dos plantas al azar de cada bloque y tratamiento, a las cuales se les midieron las siguientes variables, área foliar (cm<sup>2</sup>), determinada con Li-Cor<sup>®</sup> (LI-3000A, Li-Cor<sup>®</sup>, Lincoln, NE, USA). Peso fresco y seco (g) de parte aérea (tallos + hojas), longitud de brotes (cm), longitud de raíces (cm), peso fresco y seco (g) de raíces. El peso fresco y seco se determinó utilizando una balanza electrónica (Mettler Toledo<sup>®</sup>, Modelo PR2002, Suiza). La longitud de brotes y raíces se determinó usando un vernier digital (General<sup>®</sup> No. 143, General Tools, Manufacturing Co., Inc. de Nueva York, USA). Los brotes, las hojas y las raíces se secaron en estufa (Shel-Lab<sup>®</sup>, modelo FX-5, serie-1000203) a 80°C para determinar su peso seco hasta obtener su peso constante, el cual se alcanzó aproximadamente a las 48 horas.

### **6.8. Rendimiento**

El rendimiento de planta en fresco y seco ( $\text{g planta}^{-1}$ ) se determinó en dos cosechas, la primera en septiembre y la segunda en diciembre de 2013. Las plantas se colectaron en un área de  $1.4 \text{ m}^2$ , cortándose justo por encima de las partes lignificadas de la planta, pesando inmediatamente (rendimiento en peso fresco) en una balanza digital (Scale<sup>®</sup>, modelo 310136), posteriormente se obtuvo el rendimiento en peso en seco, colocando las plantas en completa obscuridad hasta su peso constante y posteriormente se pesaron con una balanza digital (Scale<sup>®</sup>, modelo 310136).

### **6.9. Diseño experimental y análisis estadístico**

Los datos se analizaron mediante análisis univariado y multivariado de varianza (ANOVA y MANOVA) de acuerdo con un diseño factorial de dos factores, siendo el primer factor las dos condiciones ambientales (campo abierto y malla sombra) y el segundo factor las dosis de bocashi ( $0, 3, 6$  y  $9 \text{ t ha}^{-1}$ ) en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las diferencia entre las medias se determinaron mediante la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p=0.05$ ). Para todas las variables, los valores promedio se consideraron diferentes significativamente a una  $p \leq 0.05$ . Todos los análisis se realizaron con el programa de cómputo Statistica v 10.0 para Windows.

## 7. RESULTADOS

El análisis de varianza multivariado no mostró diferencias significativas entre condiciones (Wilks=0.007,  $F=5.83$ ,  $p=0.31$ ), dosis de bocashi (Wilks=0.00014,  $F=0.93$ ,  $p=0.59$ ) ni para la interacción de condiciones  $\times$  dosis de bocashi (Wilks=0.000021,  $F=1.91$ ,  $p=0.28$ ). Se observa que la relación de posibilidades de Wilks no fue significativa. Esto confirma que solo algunas variables del presente estudio mostraron diferencias significativas entre los factores en estudio (Johnson, 1988).

### 7.1. Variables fisiológicas

#### *Fotosíntesis*

El intercambio gaseoso para la tasa neta de  $\text{CO}_2$  de asimilación ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) mostró diferencias significativas solo en el factor condición (Tabla 1), con valores superiores en la condición de malla sombra respecto a campo abierto (Tabla 3). Para el factor dosis de bocashi y la interacción de los factores condición  $\times$  bocashi, esta variable no mostró diferencias significativas (Tabla 1). Sin embargo, se observó que la fotosíntesis disminuyó conforme disminuyeron las dosis de bocashi (Tabla 5), mientras que en la interacción, los valores superiores se presentaron en malla sombra con una dosis de  $9 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 7).

#### *Temperatura de la hoja*

Esta variable mostró diferencias significativas en los factores condición y dosis de bocashi, sin embargo, la interacción de estos factores no mostró diferencias significativas (Tabla 1). Para el factor condición, las temperaturas mayores de la hoja se presentaron en la condición de campo abierto (Tabla 3), mientras que para el factor dosis de bocashi las temperaturas mayores de la hoja se presentaron en la dosis superior de bocashi y la temperatura disminuyó conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 4). Las temperaturas

mayores en la interacción de condición por dosis de bocashi se presentaron en campo abierto y en las dosis superiores de bocashi (Tabla 7).

#### *Conductividad estomática*

La conductividad estomática ( $G_s$ , mol  $H_2O$   $m^{-2}$   $s^{-1}$ ) mostró diferencias significativas para los factores condición, dosis de bocashi y la interacción de estos factores (Tabla 1). Para el factor condición, la conductividad estomática de las plantas mostró valores superiores en malla sombra (Tabla 3); para el factor dosis de bocashi,  $G_s$  fue aumentando conforme la dosis de bocashi fue aumentando mostrando el valor más alto en 9 t  $ha^{-1}$  (Tabla 4). En la interacción de los factores, los valores mayores de  $G_s$  se presentaron en malla sombra siendo el tratamiento de 9 t  $ha^{-1}$  el de mayor valor y el más bajo fue en campo abierto en la dosis de 0 t  $ha^{-1}$  (Tabla 6).

#### *Transpiración*

La tasa de transpiración ( $E$ , mol  $H_2O$   $m^{-2}$   $s^{-1}$ ) mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 1), observándose que las plantas en la condición de malla sombra, mostraron valores superiores de transpiración (Tabla 3). Para el factor dosis de bocashi, las plantas sometidas a mayores dosis, mostraron mayor transpiración, la cual disminuyó conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 5). Para la interacción de los factores, se observó que las plantas en malla sombra y con dosis mayores de bocashi, mostraron la tasa de transpiración mayor y esta disminuyó conforme disminuyeron las dosis de bocashi en malla sombra, mientras que en campo abierto los valores superiores se encontraron en los tratamientos de 6 y 9 t  $ha^{-1}$  (Tabla 7).

#### *Uso eficiente del agua*

El uso eficiente del agua (UEA,  $\mu mol$   $CO_2$   $\mu mol^{-1}$   $H_2O$ ) no mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 1); sin embargo, exhibió valores ligeramente superiores en malla sombra con respecto a la condición de campo abierto. Esta variable mostró diferencias significativas en el factor dosis de bocashi (Tabla 1), observándose que el uso eficiente del uso del agua se incrementó a la par del incremento de la dosis de

bocashi, obteniendo el valor más alto en  $9 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabla 4). A pesar de que el UEA no mostró diferencias significativas en la interacción de los factores condición  $\times$  bocashi (Tabla 1), se observó que los valores de esta variable mostraron fueron superiores en el tratamiento de  $9 \text{ t ha}^{-1}$  en ambas condiciones tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 7).

#### *Potencial hídrico de la hoja*

El potencial hídrico de la hoja (PHH) no mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 2); sin embargo, los valores menos negativos se presentaron en la condición de malla sombra (Tabla 3). El potencial hídrico de la hoja tampoco mostró diferencias significativas para el factor dosis de bocashi (Tabla 2), pero se observó una tendencia de que las hojas mostraron valores menos negativos en el potencial hídrico en la hoja en aquellas plantas sometidas a dosis mayores de bocashi (Tabla 5). Para la interacción de los factores condición  $\times$  dosis de bocashi, se presentaron diferencias significativas para esta variable (Tabla 2), observándose valores menos negativos del potencial hídrico en las plantas con dosis  $9 \text{ t ha}^{-1}$ , tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 6).

#### *Potencial mátrico del suelo*

El potencial mátrico del suelo (PMS) mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 2), expresando valores menos negativos en el suelo en la condición de malla sombra (Tabla 3). Esta variable no mostró diferencias significativas para el factor dosis de bocashi (Tabla 2); sin embargo, se observan valores menos negativos en esta variable conforme se incrementaron las dosis de bocashi (Tabla 5). En la interacción de los factores condición  $\times$  dosis de bocashi, no se presentaron diferencias significativas (Tabla 2), pero la tendencia es clara en cuanto a que mostró valores menos negativos en malla sombra en dosis altas de bocashi, incrementando el valor con signo más negativo conforme disminuyeron las dosis de bocashi tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 7).

### *Contenido relativo de agua*

El contenido relativo de agua (CRA) no mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 2), observándose valores similares en ambas condiciones de malla sombra y campo abierto, pero ligeramente superior en malla sombra (Tabla 3). Esta variable mostró diferencias significativas para el factor dosis de bocashi (Tabla 2), observándose incrementos en el contenido relativo de agua conforme se incrementaron las dosis de bocashi (Tabla 4). La interacción de los factores condición  $\times$  dosis de bocashi no mostró diferencias significativas (Tabla 2); sin embargo, es claro que los valores del CRA mayores se encontraron en las dosis mayores de bocashi ( $9 \text{ t ha}^{-1}$ ) tanto en la condición de malla sombra como en campo abierto (Tabla 7).

### **7.2. Clorofila a, b y total**

Clorofila a (Chl a) no mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 8); sin embargo, los valores de Chl a fueron ligeramente superiores en la condición de malla sombra (Tabla 9). Asimismo, esta variable no mostró diferencias significativas en el factor dosis de bocashi (Tabla 8) pero se observó que ésta se incrementó conforme se incrementaron las dosis de bocashi (Tabla 10). Esta variable tampoco mostró diferencias significativas en la interacción de los factores condición  $\times$  dosis de bocashi (Tabla 8) pero mostró valores superiores en las dosis de  $9 \text{ t ha}^{-1}$  tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 11).

Clorofila b (Chl b) no mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 8), pero presentó una tendencia cuyos valores de Chl b fueron ligeramente superiores en las plantas cultivadas en malla sombra (Tabla 9). Esta variable no mostró diferencias significativas para el factor dosis de bocashi (Tabla 8) pero las plantas tratadas con dosis mayores de bocashi mostraron valores superiores y la Chl b disminuyó a la par de la disminución de la dosis de bocashi (Tabla 10). La interacción de los factores condición  $\times$  dosis de bocashi, tampoco mostró diferencias significativas (Tabla 8); sin embargo, las

plantas exhibieron valores más altos en  $9 \text{ t ha}^{-1}$  en malla sombra y en campo abierto (Tabla 11).

En el mismo sentido, la clorofila total (Chl total) no mostró diferencias significativas en el factor condición (Tabla 8), pero existe una tendencia al mostrar valores mayores en la condición de malla sombra (Tabla 9). Para el factor dosis de bocashi, esta variable tampoco mostró diferencias significativas (Tabla 8), aunque presentó valores superiores en la dosis mayor de bocashi que fue de  $9 \text{ t ha}^{-1}$ , disminuyendo conforme disminuyeron las dosis de bocashi (Tabla 10). Respecto a la interacción de los factores condición  $\times$  dosis de bocashi, la clorofila total no mostró diferencias significativas (Tabla 8); sin embargo, en la interacción mostró los valores más altos en  $9 \text{ t ha}^{-1}$  en malla sombra y en campo abierto (Tabla 11).

Tabla 1. Análisis de varianza para temperatura de la hoja y características fisiológicas de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Fuentes de variación	Gl	Temperatura de la hoja		UEA		A		Gs		E	
		CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F
Condición	1	186.73	**	0.01581	ns	148.935	*	11.80575	**	261.14	**
Bocashi	3	6.34	**	0.28175	*	25.977	ns	1.27598	**	11.88	ns
Condición×bocashi	3	0.71	ns	0.00224	ns	25.559	ns	0.93858	*	17.05	ns
Error	24	1.17		0.07389		29.852		0.26980		9.48	

gl=grados de libertad; CM=Cuadrados Medios; UEA=Uso Eficiente de Agua; A=Fotosíntesis; Gs=Conductividad Estomática; E=Transpiración; ns=no significativo estadísticamente. \*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.05$ ; \*\*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.01$ .

Tabla 2. Análisis de varianza para contenido relativo de agua, potencial hídrico de la hoja y potencial mátrico del suelo en orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Fuentes de variación	gl	CRA		Potencial hídrico de la hoja		Potencial mátrico del suelo	
		CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F
Condición	1	0.2	ns	0.4129	ns	422.4840	**
Bocashi	3	13.5	**	0.1470	ns	9.6860	ns
Condición×bocashi	3	5.6	ns	0.5720	*	11.0486	ns
Error	24	3.4		0.1692		18.1153	

gl=grados de libertad; CM=Cuadrados Medios; CRA= Contenido Relativo de Agua; ns=no significativo estadísticamente; \*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.05$ ; \*\*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.01$ .

Tabla 3. Valores promedio y resultados de la prueba de comparación múltiple de temperatura de la hoja, potencial mátrico del suelo y características fisiológicas de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).

Condición	E (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Gs (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	CRA (%)	UEA (μmol CO <sub>2</sub> μmol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	A (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Temperatura de la hoja (°C)	Potencial hídrico de la hoja (MPa)	Potencial mátrico del suelo (MPa)
Campo abierto	18.70 b	0.94 b	82.38a	0.73 a	13.03 b	36.81 a	-2.89 a	-7.64063 b
Malla sombra	24.41 a	2.16 a	82.52a	0.78 a	17.34 a	31.98 b	-2.67 a	-0.37354 a

E=Transpiración; Gs=Conductividad Estomática; CRA=Contenido Relativo de Agua; UEA= Uso Eficiente de Agua; A=Fotosíntesis; \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 4. Valores promedio de temperatura de la hoja y características fisiológicas de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	CRA	UEA (μmol CO <sub>2</sub> μmol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	Gs (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Temperatura de la hoja (°C)
0	81.58 b	0.64 b	1.17 b	33.14 b
3	81.77 b	0.65 b	1.28 b	34.51 ab
6	82.11 ab	0.71 ab	1.73 ab	34.66 a
9	84.38 a	1.04 a	2.03 a	35.25 a

CRA=Contenido Relativo de Agua; UEA=Uso Eficiente de Agua; Gs=Conductividad Estomática. \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 5. Valores promedio de potencial mátrico del suelo y variables fisiológicas de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	A (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	E (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Potencial hídrico hoja (MPa)	Potencial mátrico suelo (MPa)
0	12.99 a	20.51 a	-2.92 a	-5.34 a
3	15.03 a	20.57 a	-2.87 a	-4.40 a
6	15.29 a	22.13 a	-2.70 a	-3.44 a
9	17.40 a	22.99 a	-2.64 a	-2.83 a

A=Fotosíntesis; E=Transpiración; \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 6. Valores promedio de potencial hídrico de la hoja y conductividad estomática de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Potencial hídrico (MPa)	Gs (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
Campo abierto	0	-3.14 b	0.70 c
Campo abierto	3	-3.04 b	0.84 c
Campo abierto	6	-2.75 ab	1.09 c
Campo abierto	9	-2.66ab	1.13 c
Malla sombra	0	-3.10 b	1.47 bc
Malla sombra	3	-2.74 ab	1.63 bc
Malla sombra	6	-2.59 ab	2.60 ab
Malla sombra	9	-2.24 a	2.92 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 7. Valores promedio de potencial mátrico del suelo y características fisiológicas de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	E (mol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	CRA (%)	UEA (μmol CO <sub>2</sub> μmol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)	A (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	Temperatura de la hoja (°C)	Potencial mátrico del suelo (MPa)
Campo abierto	0	17.75 a	81.41 a	0.61 a	10.96 a	35.95 a	-10.34 a
Campo abierto	3	18.32 a	82.22 a	0.64 a	12.38 a	36.75 a	-8.58 a
Campo abierto	6	19.28 a	82.74 a	0.68 a	12.90 a	36.93 a	-6.38 a
Campo abierto	9	19.42 a	83.16 a	1.00 a	15.85 a	37.57 a	-5.24 a
Malla sombra	0	21.72 a	81.30 a	0.63 a	13.09a	30.33 a	-0.49 a
Malla sombra	3	22.70 a	81.46 a	0.67 a	17.68 a	32.56 a	-0.42 a
Malla sombra	6	26.50 a	81.75 a	0.73 a	18.96 a	32.07 a	-0.34 a
Malla sombra	9	26.70 a	85.59 a	1.06 a	19.63 a	32.92 a	-0.22 a

E=Transpiración; CRA=Contenido Relativo de Agua; UEA= Uso Eficiente de Agua; A=Fotosíntesis; \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 8. Análisis de varianza para clorofilas a, b y total de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Fuentes de variación	gl	Chl a ( $\mu\text{g cm}^2$ )		Chl b ( $\mu\text{g cm}^2$ )		Chl total ( $\mu\text{g cm}^2$ )	
		CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F
Condición	1	13.30	ns	1.17	ns	22.36	ns
Bocashi	3	1.10	ns	0.18	ns	2.09	ns
Condición×bocashi	3	4.52	ns	0.62	ns	8.46	ns
Error	24	5.04		0.50		8.58	

gl=grados de libertad; CM=Cuadrados Medios; ns=no significativo estadísticamente.

Tabla 9. Valores promedio de clorofilas a, b y total de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).

Condición	Chl a ( $\mu\text{g cm}^2$ )	Chl b ( $\mu\text{g cm}^2$ )	Chl total ( $\mu\text{g cm}^2$ )
Campo abierto	15.36 a	5.24 a	20.61 a
Malla sombra	16.65 a	5.62 a	22.28 a

Chl=clorofila; \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 10. Valores promedio de clorofila a, b y total de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Chl a ( $\mu\text{g cm}^2$ )	Chl b ( $\mu\text{g cm}^2$ )	Chl total ( $\mu\text{g cm}^2$ )
0	15.59 a	5.28 a	20.87 a
3	15.81 a	5.37 a	21.19 a
6	16.28 a	5.45 a	21.73 a
9	16.36 a	5.63 a	22.00 a

Chl=clorofila; \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 11. Valores promedio de clorofilas a, b y total de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Chl a (µg cm <sup>2</sup> )	Chl b (µg cm <sup>2</sup> )	Chl total (µg cm <sup>2</sup> )
Campo abierto	0	14.94 a	5.11 a	20.06 a
Campo abierto	3	15.15 a	5.14 a	20.29 a
Campo abierto	6	15.38 a	5.26 a	20.65 a
Campo abierto	9	15.99 a	5.46 a	21.45 a
Malla sombra	0	15.64 a	5.28 a	20.93 a
Malla sombra	3	15.79 a	5.29 a	21.09 a
Malla sombra	6	17.40 a	5.77 a	23.18 a
Malla sombra	9	17.79 a	6.15 a	23.93 a

Chl=clorofila; \*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

### 7.3. Valores indirectos de clorofila (SPAD-502)

El análisis de varianza para esta variable no mostró diferencias significativas para el factor condición de cultivo (Tabla 12), aunque numéricamente se observa que los valores del SPAD-502 fueron ligeramente superiores en la condición de campo abierto (Tabla 13). El factor dosis de bocashi no fue estadísticamente diferente para esta variable (Tabla 12); sin embargo, se presentaron valores ligeramente superiores del SPAD-502 en la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup> de bocashi y estos disminuyeron conforme disminuyeron las dosis de bocashi (Tabla 14). Para la interacción de los factores condición × dosis de bocashi, esta variable no mostró diferencias significativas (Tabla 12), aunque exhibió valores ligeramente superiores en la condición de campo abierto en la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup> y en malla sombra en la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 15).

Tabla 12. Análisis de varianza para valores indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Fuentes de variación	Gl	SPAD-502	
		CM	P>F
Condición	1	1.97	ns
Bocashi	3	3.43	ns
Condición×bocashi	3	7.78	ns
Error	24	6.25	

gl=grados de libertad; CM=Cuadrados Medios; ns=no significativo estadísticamente.

Tabla 13. Valores promedio indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).

Condición	SPAD-502
Campo abierto	36.26 a
Malla sombra	35.76 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 14. Valores promedio indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	SPAD-502
0	35.29 a
3	35.80 a
6	36.10 a
9	36.85 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 15. Valores promedio indirectos de clorofila (SPAD-502) de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	SPAD-502
Campo abierto	0	34.66 a
Campo abierto	3	36.40 a
Campo abierto	6	36.85 a
Campo abierto	9	37.14 a
Malla sombra	0	34.18 a
Malla sombra	3	35.36 a
Malla sombra	6	36.57 a
Malla sombra	9	36.95 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

#### **7.4. Variables morfométricas**

##### *Altura de planta*

La altura de planta mostró diferencias significativas para el factor condición (Tabla 16), donde las plantas sembradas en malla sombra presentaron valores superiores (Tabla 17). Aunque esta variable no mostró diferencias significativas para el factor dosis de bocashi (Tabla 16), numéricamente se observó que la altura de plantas fue mayor conforme las dosis de bocashi se incrementaron, presentándose la altura mayor en aquellas plantas con la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup> y disminuyó conforme disminuyeron las dosis de bocashi (Tabla 18). La interacción de los factores condición × dosis de bocashi tampoco mostró diferencias significativas para esta variable (Tabla 16); sin embargo, las plantas tratadas con la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup> tanto en malla sombra como en campo abierto, mostraron valores mayores (Tabla 19).

##### *Área foliar*

El área foliar mostró diferencias significativas para el factor condición de cultivo (Tabla 16), presentando valores significativamente superiores en aquellas plantas cultivadas en malla sombra (Tabla 17). El área foliar no mostró diferencias significativas entre dosis de bocashi ni entre la interacción de los factores condición × dosis de bocashi (Tabla 16); sin embargo, las plantas mostraron un incremento del área foliar de acuerdo al incremento de la dosis de bocashi, siendo mayor en 9 t ha<sup>-1</sup> y menor en la dosis de 0 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 18). En la interacción de esta variable, los valores menores se encontraron en las dosis de bocashi de 9 t ha<sup>-1</sup> tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 19).

##### *Longitud del tallo*

La longitud del tallo mostró diferencias significativas en el factor condición de cultivo (Tabla 16), donde las plantas cultivadas en malla sombra, presentaron la mayor longitud de tallo (Tabla 17). Esta variable no mostró diferencias significativas en el factor dosis de bocashi ni en la interacción de los factores condición × dosis de bocashi (Tabla 16), pero se observó una tendencia numérica al mostrar valores superiores de longitud del tallo

conforme las dosis de bocashi se incrementaron y se redujo conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 18); igualmente, la respuesta de esta variable en la interacción de los factores en estudio, presentó valores superiores en  $9 \text{ t ha}^{-1}$  tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 19).

#### *Peso fresco de parte aérea*

El peso fresco de parte aérea mostró diferencias significativas para el factor condición de cultivo (Tabla 16), observándose valores superiores de esta variable en las plantas cultivadas en malla sombra (Tabla 17). Las fuentes de variación dosis de bocashi y la interacción condición  $\times$  dosis de bocashi no mostraron diferencias significativas para esta variable (Tabla 16), pero numéricamente se presentaron valores más bajos en la dosis control de  $0 \text{ t ha}^{-1}$  y los valores del peso fresco de parte aérea se incrementaron de acuerdo al incremento de la dosis de bocashi (Tabla 18). En la interacción de los factores, los valores del peso fresco de parte aérea, mostraron valores superiores en malla sombra exhibiendo una tendencia de aumentar acorde al incremento de la dosis de bocashi, mostrando la misma tendencia en la condición de campo abierto (Tabla 19).

#### *Peso seco de la parte aérea*

El peso seco de la parte aérea mostró diferencias significativas para condición de cultivo (Tabla 16), observándose un incremento significativo en las plantas en malla sombra (Tabla 17). Aunque el factor dosis de bocashi no mostró diferencias estadísticas significativas (Tabla 16), se observó que el valor inferior del peso seco de parte aérea se presentó en  $0 \text{ t ha}^{-1}$  y fue incrementando de acuerdo al aumento de la dosis de bocashi (Tabla 18). La interacción de los factores de esta variable mostró valores mayores en  $9 \text{ t ha}^{-1}$  tanto en malla sombra como en campo abierto (Tabla 19).

#### *Longitud de la raíz*

La longitud de la raíz no mostró diferencias significativas para ninguno de los factores en estudio (Tabla 16); sin embargo, para el factor condición, se observó que las plantas en malla sombra, mostraron valores ligeramente superiores respecto a las plantas en campo

abierto (Tabla 17). Similarmente, la tendencia en las dosis de bocashi, se observó que las plantas tratadas con dosis mayores, presentaron valores ligeramente superiores conforme las dosis de bocashi se incrementaron (Tabla 18). En la interacción condición de cultivo  $\times$  dosis de bocashi, se observó que los valores mayores correspondieron a 9 t ha<sup>-1</sup> tanto en malla sombra como en campo abierto, mostrando una tendencia de decrecer conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 19).

#### *Peso fresco de la raíz*

El peso fresco de la raíz mostró diferencias significativas en la condición de cultivo (Tabla 16), observándose valores superiores en las plantas cultivadas en malla sombra respecto a las cultivadas en campo abierto (Tabla 17). A pesar que el factor dosis de bocashi no mostró diferencias significativas para esta variable (Tabla 16), se observó una tendencia en cuanto a que las plantas con mayores dosis de bocashi, mostraron valores superiores (Tabla 18). No se presentaron diferencias significativas en la interacción condición de cultivo  $\times$  dosis de bocashi (Tabla 16); sin embargo, se observaron valores superiores en malla sombra sobre los valores de campo abierto pero en ambas condiciones, esta variable mostró una tendencia de reducir conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 19).

#### *Peso seco de la raíz*

El peso seco de la raíz mostró diferencias significativas para condición de cultivo (Tabla 16), observándose un incremento significativo del peso seco en las plantas cultivadas en malla sombra respecto a las cultivadas en campo abierto (Tabla 17). Esta variable no mostró diferencias significativas para dosis de bocashi (Tabla 16), pero se observó una tendencia de aumentar el peso seco de la raíz, conforme se incrementaron las dosis de bocashi (Tabla 18). La interacción condición de cultivo  $\times$  dosis de bocashi no mostró diferencias significativas (Tabla 16), pero al igual que el peso fresco de la raíz, presentó una respuesta diferencial en esta interacción, mostrando los valores superiores en las plantas cultivadas en malla sombra en la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup>, pero en ambas condiciones, esta variable mostró una tendencia de decrecer conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 19).

Tabla 16. Análisis de varianza para características morfométricas de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Fuentes variación	gl	Planta				Parte aérea					
		Altura		Área foliar		Peso fresco		Peso seco		Longitud del tallo	
		CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F
Condición	1	305.05	**	1.222223E+08	*	492751	**	25661.3	**	465.12	**
Bocashi	3	3.98	ns	4.231053E+07	ns	3508	ns	463.9	ns	52.65	ns
Condición×bocashi	3	35.82	ns	3.967848E+06	ns	8838	ns	884.7	ns	80.52	ns
Error	24	13.01		1.991621E+07		14365		732.1		63.60	

		Raíz					
		Longitud		Peso fresco		Peso seco	
		CM	P>F	CM	P>F	CM	P>F
Condición	1	13.78	ns	383318	**	16715.2	*
Bocashi	3	5.27	ns	27982	ns	2631.3	ns
Condición×bocashi	3	142.05	ns	3759	ns	1243.6	ns
Error	24	68.26		23156		3840.5	

gl=grados de libertad; CM=Cuadrados Medios; ns=no significativo estadísticamente; \*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.05$ ; \*\*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.01$ .

Tabla 17. Valores promedio y resultados de la prueba de comparación múltiple de características morfométricas de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).

Condición	Planta		Parte aérea			Raíz		
	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Longitud de tallo (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco(g)	Longitud (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
Campo abierto	24.72 b	7441.13 b	32.19 b	189.56 b	45.89 b	34.09 a	227.95 b	91.89 b
Malla sombra	30.89 a	11349.81 a	39.81 a	437.74 a	102.53 a	35.40 a	446.85 a	137.60 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 18. Valores promedio de características morfométricas de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Planta		Parte aérea			Raíz		
	Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Longitud de tallo (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco(g)	Longitud (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
0	27.18 a	7034.76 a	32.43 a	296.07 a	68.26 a	34.12 a	288.23 a	97.26 a
3	27.29 a	8050.77 a	36.18 a	302.43 a	69.43 a	34.37 a	309.19 a	110.60 a
6	28.05 a	10348.10 a	36.87 a	312.78 a	74.16 a	34.56 a	329.77 a	110.87 a
9	28.69 a	12148.25 a	38.50 a	343.31 a	84.96 a	35.93 a	422.38 a	140.22 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 19. Valores promedio de características morfométricas de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Planta		Parte aérea			Raíz		
		Altura (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Longitud de tallo (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco(g)	Longitud (cm)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
Campo abierto	0	21.28 a	5249.13 a	24.50 a	148.83 a	34.52 a	29.87 a	182.64 a	65.26 a
Campo abierto	3	23.95 a	5589.25 a	32.25 a	182.47 a	43.66 a	30.25 a	193.96 a	75.43 a
Campo abierto	6	26.80 a	7806.38 a	33.75 a	195.91 a	46.45 a	37.00 a	225.93 a	98.03 a
Campo abierto	9	26.83 a	11119.78a	38.25 a	231.01 a	58.91 a	38.87 a	309.26 a	128.81 a
Malla sombra	0	29.30 a	8820.40 a	38.75 a	394.56 a	89.42 a	30.25 a	392.45 a	123.72 a
Malla sombra	3	30.42 a	10512.30 a	40.00 a	409.67 a	92.85 a	34.87 a	393.83 a	129.26 a
Malla sombra	6	30.55 a	12889.83 a	40.12 a	456.02 a	104.34 a	38.00 a	465.59 a	145.76 a
Malla sombra	9	33.30 a	13176.73 a	40.37 a	490.71 a	123.47 a	38.87 a	535.50 a	151.63 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

## 7.5. Rendimiento

### *Rendimiento en peso fresco*

El rendimiento en peso fresco mostró diferencias significativas para el factor condición de cultivo (Tabla 20), observándose valores superiores en las plantas cultivadas en la condición de malla sombra (Tabla 21). Para el factor dosis de bocashi, no se presentaron diferencias estadísticas significativas para esta variable (Tabla 20); sin embargo, numéricamente se observaron incrementos del rendimiento conforme las dosis de bocashi se incrementaron (Tabla 22). Esta variable mostró diferencias significativas en la interacción de los factores condición de cultivo  $\times$  dosis de bocashi (Tabla 20), observándose un rendimiento en peso fresco mayor en aquellas plantas cultivadas en la dosis de 9 t ha<sup>-1</sup> tanto en malla sombra como en campo abierto y disminuyendo conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 23).

### *Rendimiento en peso seco*

El rendimiento en peso seco mostró la misma respuesta que el rendimiento en peso fresco, presentando diferencias significativas en el factor condición de cultivo (Tabla 20), donde las plantas cultivadas en la condición de malla sombra, mostraron un rendimiento mayor respecto a las plantas cultivadas en campo abierto (Tabla 21). El factor dosis de bocashi no mostró diferencias significativas en esta variable (Tabla 20); sin embargo, numéricamente mostró una tendencia de incremento conforme las dosis de bocashi aumentaron (Tabla 22). Igual que el rendimiento en peso fresco, el peso seco mostró diferencias significativas en la interacción de los factores condición de cultivo  $\times$  dosis de bocashi (Tabla 20), donde es claramente evidenciado que las plantas cultivadas en la condición de cultivo de malla sombra y mayores dosis de bocashi mostraron los valores mayores de peso seco. En cuanto a la condición de campo abierto esta mostró una tendencia similar que en malla sombra, al disminuir los valores de peso seco conforme las dosis de bocashi disminuyeron (Tabla 23).

Tabla 20. Análisis de varianza para rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano en diferentes condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Fuentes de variación	gl	Rendimiento			
		Peso fresco (g planta <sup>-1</sup> )		Peso seco (g planta <sup>-1</sup> )	
		CM	P>F	CM	P>F
Condición	1	212075	**	8668.67	**
Bocashi	3	1841	ns	128.35	ns
Condición×bocashi	3	8673	*	638.14	*
Error	24	2442		185.13	

gl=grados de libertad; CM=Cuadrados Medios; ns=no significativo estadísticamente; \*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.05$ ; \*\*=Significativo a un nivel de  $P \leq 0.01$ .

Tabla 21. Valores promedio de rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano considerando el factor condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto).

Condición	Rendimiento	
	peso fresco (g planta <sup>-1</sup> )	peso seco (g planta <sup>-1</sup> )
Campo abierto	98.59 b	27.99 b
Malla sombra	261.40 a	60.91 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 22. Valores promedio de rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano considerando el factor dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento	
	Peso fresco (g planta <sup>-1</sup> )	Peso seco (g planta <sup>-1</sup> )
0	166.41 a	40.71 a
3	167.33 a	41.26 a
6	192.45 a	47.70 a
9	193.78 a	48.11 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

Tabla 23. Valores promedio de rendimiento en peso fresco y seco de hoja de orégano considerando la interacción de los factores condiciones de cultivo (malla sombra y campo abierto) y dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>).

Condición	Bocashi (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento	
		Peso fresco (g planta <sup>-1</sup> )	Peso seco (g planta <sup>-1</sup> )
Campo abierto	0	64.11 b	18.58 d
Campo abierto	3	79.07 b	22.44 cd
Campo abierto	6	103.91 b	29.81 cd
Campo abierto	9	147.24 b	41.10 bcd
Malla sombra	0	228.91 a	52.71 ab
Malla sombra	3	237.65 a	54.30 ab
Malla sombra	6	270.54 a	62.83 ab
Malla sombra	9	308.49 a	73.78 a

\*Valores en una misma columna con letras iguales no son diferentes estadísticamente (Tukey HSD,  $P=0.05$ ).

## 8. DISCUSIÓN

En este estudio se han documentado los efectos de dos sistemas de producción, malla sombra y campo abierto y cuatro dosis de bocashi (0, 3, 6 y 9 t ha<sup>-1</sup>) para encontrar la mejor condición de estos ambientes con el fin de incrementar el rendimiento del cultivo de orégano, así como conocer las estrategias fisiológicas de adaptación a las diferentes condiciones de los tratamientos. Respecto a esto último, se observó que la reducción de la conductividad estomática y por lo tanto de la transpiración de plantas de orégano cultivadas en campo abierto, respondió a un mecanismo de adaptación de las plantas que enfrentaron potenciales hídricos bajos. Estos potenciales coinciden con potenciales mátricos menores que en la malla sombra, es decir, reflejan un contenido menor de agua en el suelo. Debido a que la planta se ve limitada en este sentido, disminuye la pérdida de agua por transpiración a través del cierre de sus estomas, que como consecuencia limita el intercambio gaseoso en la planta y se refleja en la disminución de la fotosíntesis. Este mecanismo ha sido ampliamente estudiado como una adaptación al estrés hídrico que se ocasiona por la adaptación de la planta a la condición propia de zonas áridas y semiáridas. El uso eficiente de agua de la planta en ambas condiciones de cultivo mostró valores superiores en 9 t ha<sup>-1</sup>, en malla sombra y campo abierto, aunque no mostró diferencias significativas entre los sistemas de cultivo, ligeramente mostró valores superiores en malla sombra. De esta manera, el metabolismo de las plantas de orégano cultivadas en la condición de malla sombra es benéfico para incrementar la fotosíntesis, la cual es la base para cualquier rendimiento económico (Pessaraki, 2005). La fotosíntesis foliar es el componente principal de la fotosíntesis del dosel que considera mucha de la variación del rendimiento (Takai *et al.*, 2010). Recientemente, Murillo-Amador *et al.* (2013) encontraron para las especies de orégano y tomillo, que las variables fisiológicas y morfométricas de las plantas cultivadas en la condición de malla sombra, fueron superiores con respecto a aquellas cultivadas en campo abierto. El potencial mátrico del suelo de la malla sombra, mostró valores más altos que el suelo de la condición de campo abierto. Debido a que el riego fue igual para ambas condiciones, lo anterior hace suponer una tasa de evaporación más lenta en la condición de

mallas que en campo abierto, lo cual, los autores sugieren que se relacionó con una conductividad estomática, transpiración y fotosíntesis que mostraron las plantas de orégano cultivadas en malla sombra. Resultados similares se obtuvieron en esta investigación ya que el potencial hídrico fue similar en ambas condiciones, este mantuvo valores mayores en malla sombra, mismos que se manifiestan en un mayor contenido relativo de agua en plantas en este tipo de cultivo. En este estudio, la concentración de CO<sub>2</sub> fue de  $375.5 \pm 7.2$  y  $363.3 \pm 2.5 \mu\text{mol mol}^{-2}$  en malla sombra y campo abierto, respectivamente. El orégano, como la mayoría de las especies, tiene origen silvestre y se mantiene en algunas regiones como tal, por lo que se considera altamente resistente a las bajas concentraciones de humedad del suelo, lo cual se demostró en el presente estudio cuando las plantas cultivadas en ambas condiciones de cultivo, mostraron altas tasas de transpiración, pero contrario a lo que se esperaba, los resultados no mostraron diferencias significativas entre las condiciones de cultivo para la variable uso eficiente de agua, consecuentemente los valores de contenido relativo de agua fueron similares entre las condiciones de malla sombra y campo abierto, manteniendo potencial hídrico menos negativo en malla sombra a pesar de la alta tasa de transpiración y de conductividad estomática. Otras especies como cebada, han mostrado altas tasas de transpiración en suelos húmedos y secos, como resultado de una disminución rápida del contenido de agua del suelo y consecuentemente una disminución del contenido relativo de agua de la planta. Este uso mayor de agua se asoció con una alta conductividad estomática. Sin embargo, las plantas de cebada fueron capaces de mantener altos contenidos relativos de agua (76%) a pesar que el potencial hídrico disminuyó notablemente (-1.35 MPa) a los 13 días después de la retención de agua (Robredo *et al.*, 2007). A diferencia de lo encontrado por Robledo *et al.* (2007), el presente estudio del cultivo de orégano parece ser una especie más adaptable a las condiciones expuestas ya que el contenido de agua del suelo no fue una limitante en malla sombra, observándose un incremento en el potencial hídrico de la hoja a pesar del hecho de que ambos, la tasa de transpiración y la conductividad estomática se incrementaron en malla sombra. Definitivamente, la conductividad estomática y la tasa de transpiración en orégano, estuvieron controladas por las condiciones ambientales de cultivo más que la condición de humedad del suelo, ya que se presentaron diferencias significativas entre condiciones; sin

embargo, estas variables fisiológicas son controladas no solamente por factores físicos externos sino que también por su fisiología específica (García-Quijano y Barros, 2005). Como se esperaba, la temperatura de la hoja fue alta en aquellas plantas de orégano cultivadas en campo abierto y conforme las dosis de bocashi se incrementaron; sin embargo, este incremento no afectó otras variables fisiológicas como la conductividad estomática, la tasa de transpiración y de fotosíntesis, a pesar que se demostró que la temperatura de la hoja determina la velocidad de carboxilación afectando la tasa de transporte de electrones por unidad de clorofila, la cantidad de nitrógeno en rubisco y el número de sitios de recambio de la carboxilación (García-Quijano y Barros, 2005). El déficit de agua tiene múltiples efectos en las plantas, incluyendo la reducción de la conductividad estomática, la eficiencia de la carboxilación y de la actividad del fotosistema (Lawlor y Tezara, 2009), los cuales afectan la capacidad fotosintética, el uso eficiente del agua y la productividad en general. En el presente estudio, el uso de malla sombra como sistema de producción en zonas áridas, representa una ventaja para las plantas de orégano, ya que disminuye la tasa de evaporación del agua reteniéndola por más tiempo, incrementando la disponibilidad del agua para las plantas para realizar su metabolismo manifestándose en un rendimiento mayor. El mejoramiento del estatus de agua de las plantas puede deberse, al menos parcialmente, a los efectos de la condición de malla sombra, ya que las características fisiológicas, morfométricas y el rendimiento, son influenciados no solamente por la genética sino también por las condiciones ambientales, las cuales pueden resultar en alteraciones bioquímicas y fisiológicas en la planta (Sangwan *et al.*, 2001). Definitivamente el uso de bocashi como fertilizante orgánico no solamente contribuye con los materiales orgánicos, como los residuos de plantas, sino también con las bacterias y hongos, especialmente bacterias promotoras del crecimiento, las cuales generan fitohormonas, por lo tanto, el crecimiento y el rendimiento es el reflejo de un estado fisiológico favorable para la planta. Los biofertilizantes como el bocashi tienen una alta porosidad y alta habilidad para absorber y conservar los nutrientes minerales y es enriquecido con varios microorganismos benéficos del suelo, contienen elementos esenciales para las plantas como el N, P y K. Además, la materia orgánica disminuye la lixiviación de elementos minerales del suelo y mejora la estructura física del suelo,

mejorando el desarrollo radicular, proporcionando los nutrientes a las plantas y mejorando la absorción de los mismos (Hussein *et al.*, 2006). El bocashi facilita la absorción y retención de agua por el suelo, lo cual tiene un efecto favorable en el crecimiento, por lo tanto, todos los minerales estuvieron disponibles para las plantas de orégano, mejorando las variables fisiológicas y del crecimiento (Milpa-Mejía *et al.*, 2012). Hussein *et al.* (2006) demostraron que la materia orgánica como la composta mejora la estructura del suelo, incrementando el desarrollo radicular, proporcionando nutrientes a las plantas y mejorando la absorción de estos en las plantas. Además, la composta facilita la absorción y retención de agua en el suelo, lo cual tiene un efecto favorable en el crecimiento y en los componentes esenciales de las plantas. Los biofertilizantes se han establecido como fertilizante adecuado para mejorar la productividad de varias plantas aromáticas y medicinales, tales como *Dracocephalum moldavica* (Hussein *et al.*, 2006), menta (O'Brien y Barker, 1996) y *Tagetes erecta* (Khalil *et al.*, 2002). Los reportes del efecto promotor de los biofertilizantes en el crecimiento y las características fisiológicas de plantas aromáticas como el orégano, se debe a su habilidad para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Además, esto se relaciona con el balance adecuado de nutrientes y del agua en la zona radicular (Abdelaziz *et al.*, 2007; Gharib *et al.*, 2008; Darzi *et al.*, 2009). En el presente estudio, el incremento de los valores de las variables fisiológicas y morfométricas incluyendo el rendimiento, conforme las dosis de bocashi se incrementaron, podría estar relacionado con el efecto útil del bocashi al incrementar el área de la superficie radicular por unidad de volumen de suelo, la eficiencia en el uso del agua y la actividad fotosintética. Darzi *et al.* (2009) reportó mejoramientos en la calidad de los aceites esenciales en hinojo dulce al utilizar composta y vermicomposta lo cual podría relacionarse con el efecto positivo de estos fertilizantes al incrementar la superficie del área radicular, la fotosíntesis y el uso eficiente del agua (Abdelaziz *et al.*, 2007).

El contenido de clorofila foliar se conoce como un sistema de referencia común cuando las reacciones fisiológicas son cuantificadas (Wittmann *et al.*, 2001). El presente estudio mostró disminución en el contenido de clorofila en el ambiente de campo abierto más que en malla sombra, sugiriendo que la intensidad mayor de la luz con respecto a la de malla

sombra puede perjudicar seriamente e inactivar el sistema fotosintético. Las plantas que crecen en la condición de malla son reconocidas porque optimizan su efectividad de absorción de luz incrementando la densidad de pigmentos por unidad de área foliar (Wittmann *et al.*, 2001). El incremento en el contenido de clorofila en malla sombra, demostró la habilidad de las plantas de orégano para maximizar la capacidad de absorber la luz en condiciones de crecimiento con baja luz (Kura-Hotta *et al.*, 1987; Lei *et al.*, 1996) debido a que la clorofila “b” es generalmente el principal componente de la proteína encargada de obtener la luz, por lo que la cantidad de pigmentos es importante para la capacidad de las hojas para acomodarse a la condición de malla sombra, mientras que la clorofila “a” se concentra alrededor del fotosistema PSII. Para capturar la mayor cantidad posible de luz, las plantas en malla sombra típicamente tienen más captadores de luz por unidad de área que aquellas plantas cultivadas en campo abierto (Bosabalidis y Kokkini, 1997). El contenido de clorofila de las plantas de orégano fue mayor en las plantas cultivadas en malla sombra, mientras que en aquellas plantas en campo abierto fue menor, indicando que el contenido de clorofila puede contribuir a las diferencias en la capacidad fotosintética entre las condiciones de cultivo de malla sombra y campo abierto. El rol de los pigmentos en los procesos de la planta es indispensable, mientras que la síntesis de pigmentos fotosintéticos es por lo general controlada genéticamente, pero también depende de los factores ambientales.

El orégano como hierba aromática se utiliza ampliamente tanto en fresco como en seco, como saborizante, como té herbal y en la preparación de comida, por lo que es importante conocer su rendimiento tanto en peso fresco como en peso seco. En el presente estudio, el orégano mostró el máximo rendimiento en peso fresco y seco en la condición de malla sombra. Resultados similares encontró Murillo-Amador *et al.* (2013) en orégano y tomillo. En el presente estudio, el área foliar fue máxima cuando las plantas se cultivaron en malla sombra. Estos resultados son diferentes a los encontrados por Gordon *et al.* (1994) en *Posidonia sinuosa* quienes reportaron que el área foliar disminuyó en las condiciones de menor luz, es decir, en malla sombra. De acuerdo con Campbell y Miller (2002), las plantas de orégano podrían hacer un ajuste con el cual incrementa la demanda respiratoria de la

parte aérea para ayudar a compensar la disminución de la capacidad fotosintética de las hojas. El hecho de que todas las variables morfométricas medidas mostraron valores superiores en aquellas plantas cultivadas en malla sombra, sugiere que el orégano se considera una especie que tolera la sombra, ya que se ha demostrado que se puede cultivar bien en la condición de malla sombra. Este cultivo se adapta y crece en condiciones de luz reducida, la insuficiencia de luz puede disminuir el crecimiento. La materia seca acumulada anualmente por las plantas, incrementa linealmente con la cantidad de radiación solar interceptada, pero las plantas de orégano en malla sombra tienen una alta eficiencia para captar la luz solar debido a la disminución de la relación de la tasa de respiración y la tasa de fotosíntesis (Yeh, 1996). El incremento de las características morfométricas de plantas de orégano conforme las dosis de bocashi se incrementaron, es una evidencia que la materia orgánica aportada por este abono mostró un efecto positivo. Lo anterior se ha reportado en otras investigaciones con otras especies de plantas como el hinojo dulce notificado por Mohamed y Ahmed (2003), Abdou y Mahmoud (2003), Badran y Safwat (2004), plantas de menta reportado por Swaefy *et al.* (2007), plantas de cilantro (Abou-Aly y Gomaa, 2002) y plantas de *Nigella sativa* L. (Shaalán, 2005).

## 9. CONCLUSIONES

El presente estudio indicó que el orégano se adapta mejor a la condición de cultivo de malla sombra. Los resultados demostraron que las variables fisiológicas tales como la clorofila, el contenido relativo de agua, el contenido de agua foliar, el potencial mátrico del suelo, la transpiración, la conductividad estomática, la fotosíntesis y el uso eficiente de agua fueron mejores en malla sombra que en campo abierto. También el rendimiento en peso fresco y seco y las variables morfométricas altura de planta, área foliar, longitud de parte aérea y de raíz, peso fresco y seco de parte aérea y raíz lograron valores superiores en la condición de malla sombra con respecto a la condición de campo abierto. Los resultados mostraron que la aplicación de bocashi incrementó significativamente el rendimiento y las variables fisiológicas y morfométricas. Todo indica que las plantas de orégano pueden crecer y desarrollarse mejor en malla sombra que en campo abierto y el bocashi puede considerarse como una sustitución adecuada de los fertilizantes químicos en el desarrollo sustentable de la producción de hierbas aromáticas.

La interacción de ambientes  $\times$  dosis de bocashi mostró que las variables fisiológicas, morfométricas y el rendimiento tuvieron mejor respuesta conforme las dosis de bocashi se incrementaron tanto en condiciones de malla sombra como en campo abierto. Se recomienda la sustitución parcial o completa de fertilizantes químicos mediante la utilización de fertilizantes orgánicos o biofertilizantes los cuales son seguros y más económicos para el productor. Se sugiere incrementar las dosis de bocashi con el fin de ser lo más incluyente posible. Por lo tanto, nuevas investigaciones en relación con ambos, física y química del suelo, la fertilidad y el contenido mineral en plantas de orégano podría ser un área importante e interesante de estudio. Para determinar más investigación sobre las plantas de orégano en malla sombra, se recomiendan estudios de otras especies de orégano, ecotipos o variedades. Además, se debe considerar que las condiciones ambientales afectan la concentración de aceite esencial y la composición de orégano, por lo tanto, nuevas investigaciones sobre el efecto de los factores ambientales en la producción de aceite esencial, la concentración y la composición podría ser un área importante e interesante de estudio. Además, los resultados del experimento realizado podría tener valor práctico en el

futuro para evaluar otras hierbas comerciales en diferentes condiciones y utilizando biofertilizantes tales como bocashi. Un hallazgo importante de este estudio es que el orégano puede tener un mejor desempeño en condiciones de malla sombra. Este estudio proporciona información útil sobre el efecto de la aplicación de bocashi en orégano y de esa manera aumenta el conocimiento sobre el efecto de este biofertilizante en la producción de cultivos. Esta información puede utilizarse para una mejor gestión de bocashi, que a su vez puede utilizarse para aplicaciones costo-efectivo de biofertilizantes, que conducen así a un mayor rendimiento.

## 10. LITERATURA CITADA

- Abdelaziz M., Pokluda R., Abdelwahab, M. 2007. Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. *Not Bot Hort Agrobot Cluj*. 35:86-90.
- Abdou, M.A., Mahmoud, A.H. 2003. Growth and oil production of *Foeniculum vulgare*, Mill. 2: The effect of number of irrigation and organic fertilizers. *J Agric Sci. Mansoura Univ*. 28:3857-3868.
- Abou-Aly, H.E., Gomaa, A.O. 2002. Influence of combined inoculation with diazotrophs and phosphate solubilizers on growth, yield and volatile oil content of coriander plants (*Coriandrum sativum*, L.). *Bull Fac Agric*. 53:99-113.
- Acevedo, D., Navarro, M., Monroy, L. 2013. Composición química del aceite esencial de hojas de orégano (*Origanum vulgare*). *Información Tecnología*. 24(4):43-48.
- Aguilar-Murillo, X., Valle-Meza, G., González-Rosales, G., Murillo-Amador, B. 2013. Guía De Cultivo De Orégano. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 106 p.
- Arcila, C., Loarca, G., Lecona, S., González, E. 2004. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54(1):100-111.
- Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol*. 24:1-15.
- Badran, F.S., Safwat, M.S. 2004. Response of fennel plants to organic manure and bio-fertilizers in replacement of chemical fertilization. *Egypt J Agric Res*. 82:247-256.
- Bosabalidis, A.M., Kokkini, S. 1997. Intraspecific variation of leaf anatomy in *Origanum vulgare* grown wild in Greece. *Bot J Linn Soc*. 123:353-362.
- Campbell, S.J., Miller, C.J. 2002. Shoot and abundance characteristics of the seagrass *Heterozostera tasmanica* in Westernport estuary (south-eastern Australia). *Aquat Bot*. 73:33-46.
- Céspedes R.D.A., Guzmán R.M., Luna Z.V., Miranda T.J.A., Zambrano A.L.Y. 2010. Estudio de las plantas aromáticas y su aplicación en productos alimenticios. II Encuentro Interinstitucional de Semilleros de Investigación. Colombia.

- CONAFOR. 2011. Paquete tecnológico para la producción de orégano *Lippia* spp. Consultado en línea en septiembre de 2014: <http://www.Conafor.Gob.Mx/Biblioteca/OREGANO.Pdf>.
- Corella-Bernal, R.A., Ortega-Nieblas, M.M. 2013. Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el Estado de Sonora. *Biotecnia*. 15:57-64.
- Darzi M.T., Ghalavand A., Sefidkon F., Rejali F. 2009. The effects of mycorrhiza, vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian J Medic Aromatic Plants* 24:396-413.
- Galmés, J., Medrano, H., Flexas, J. 2007. Photosynthesis and photoinhibition in response to drought in a pubescent (var. minor) and a glabrous (var. palaui) variety of *Digitalis minor*. *Environ Exp Bot*. 60:105-111.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Third edition. UNAM, México, D.F.
- García-Quijano, J.F., Barros, A.P. 2005. Incorporating canopy physiology into a hydrological model: photosynthesis, dynamic respiration, and stomatal sensitivity. *Ecological Modelling*. 185:29-49.
- García-Rojas, D.A. 2011. La composta como alternativa de fertilización orgánica. La Paz B.C.S. México. Tesis de Licenciado en Administración de Agronegocios. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S., México.
- García-Valenzuela, N.A. 2012. Aprovechamiento de orégano silvestre (*Lippia Spp.*) en la comunidad de Tesila, El Fuerte Sinaloa. Tesis de Maestría, México: Universidad Autónoma Indígena de México. Los Mochis, Sinaloa, México.
- Gharib F.A., Moussa L.A., Massoud O.N. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. *Int J Agr Biol*. 10:381-387.
- Gómez-Tovar, L., Gómez-Cruz, M.A. 2004. La agricultura orgánica en México y en el mundo. CONABIO (Comisión Nacional de la Biodiversidad). *Biodiversitas*. 55:13-15.
- Gordon D.M., Grey, K.A., Chase, S.C., Simpson C.J. 1994. Changes to the structure and productivity of a *Posidonia sinuosa* meadow during and after imposed shading. *Aquat Bot*. 47:265-275.

- Gutiérrez, L.A., Seguro, S., Arenas, J.E., Moreno, J.G. 2012. Evaluación del poder fertilizante de dos abonos orgánicos preparados con microorganismos eficientes en plantas de tomate y maíz. *Agriculture and Animal Sciences*. 1(2).
- Hoagland, D., Arnon, D.I. 1950. The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station, Berkeley, USA.
- Huerta, C. 1997. Orégano Mexicano: oro vegetal. *CONABIO. Biodiversitas*. 15:8-13.
- Hussein, M.S., El-Sherbeny, S.E., Khalil, M.Y., Naguib, N.Y., Aly, S.M. 2006. Growth characters and chemical constituents of *Dracocephalum moldavica* L. plants in relation to compost fertilizer and planting distance. *Sci Hortic*. 108:322-331.
- Jason, J.G., Thomas, G.R., Pharr, D.M. 2004. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and carbohydrate content of *Illicium* taxa grown under varied irradiance. *J Am Soc Hort Sci*. 129:46-53.
- Jasso-Chaverría, C., Martínez-Gamiño, M.A., Chávez-Vázquez, J.R., Ramírez-Télles, J.A., Garza-Urbina, E. 2012. Guía para cultivar jitomate en condiciones de malla sombra en San Luis Potosí. Folleto Técnico No. MX-0-310305-49-03-17-09-44.
- Johnson, D.E. 1988. *Applied Multivariate Methods for Data Analysis*. Brooks Cole Publishing Company.
- Juárez-López, P., Bugarín-Montoya, R., Castro-Brindis, R., Sánchez-Monteón, A.L., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C.R., Alejo-Santiago, G., Balois-Morales, R. 2011. Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*. 3(8).
- Khalil M.Y., Naguib, Y.N., El-Sherbeny, S.E. 2002. Effect of *Tagetes erecta* L. to some foliar application under compost levels. *Arab Univ J Agric Sci, Ain Shams Univ Cairo*. 10:939-964.
- Kura-Hotta, R., Satoh, K., Kato, S. 1987. Chlorophyll concentration and its changes in leaves of spinach under different light levels. *Plant Cell Physiol*. 87:12-19.
- Lawlor, D.W., Tezara, W. 2009. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. *Ann Bot*. 103:561-579.
- Lei, T.T., Tabuchi, R., Kitao, M., Koike, T. 1996. The functional relationship between chlorophyll content, leaf reflectance, and light capturing efficiency of Japanese forest species under natural shade and open light regimes. *Physiol Planta*. 96:411-418.

- Letchamo, W., Xu, H.L., Gosselin, A., 1995. Variations in photosynthesis and essential oil in thyme. *J. Plant Physiol.* 147:29–37.
- Leveau-Tuanama, R. 2009. Caracterización química y microbiológica de abonos orgánicos a partir de gallinaza y rastrojos de cosecha para la producción agrícola. Tesis. Universidad Nacional de San Martín Perú. Ingeniero Agrónomo. Tarapoto, Perú.
- MacNicol, P.K., Dudzinski, M.I., Condon, B.N. 1976. Estimation of chlorophyll in tobacco leaves by direct photometry. *Ann Bot.* 40:143-152.
- Masaki, S. Leblanc, H., Tabora, P. 2000. Tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Primera Edición. Costa Rica. 24 p.
- Milpa-Mejía, S., Grenón-Cascales, G.N., González-Castellanos, A., Vázquez-García, L.M. 2012. Cultivo en maceta de *Iris xiphium* L. (Iris de Holanda) con diferentes concentraciones de humus de lombriz y sus lixiviados. *Rev FCA UNCUIYO.* 44:109-117.
- Mohamed, A.A., Ahmed, M.E. 2003. A comparative study on the effect of sugarcane filter mud, sheep and chicken manures used for fertilization of sweet fennel (*Foeniculum vulgare*, L.). *Minia J Agric Res Dev.* 22:221-234.
- Murillo-Amador, B., Beltrán-Morales, F.A., García-Hernández, J.L., Fenech-Larios, L. 2006. La Agricultura Orgánica en Baja California Sur. Ed. CIBNOR-UABCS. La Paz, B.C.S. México. 292 P.
- Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., López-Aguilar, R., Troyo-Diéquez, E., Rueda-Puente, E.O., Flores-Hernández, A., Ruiz-Espinoza, F.H. 2013. Physiological, morphometric characteristics and yield of *Origanum vulgare* L. and *Thymus vulgaris* L. exposed to open-field and shade-enclosure. *Industrial Crops and Products.* 49:659-667.
- Nieto-Garibay A., Murillo-Amador B., Mercado-Guido C. Hiraes-Lucero L., Luna-García P., Briseño-Ruiz S., Díaz-Ramírez M., Ceseña-Núñez J.R., Jordán-Castro A. 2013. La composta en la producción de hierbas aromáticas en Baja California Sur. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 22 p.
- O'Brien T.A., Barker A.V. 1996. Growth of peppermint in compost. *J Herbs Spices Med Plants.* 4:19-27.
- Pessarakli, M. 2005. Handbook of Photosynthesis. Second edition. CRC Press, Boca Raton, FL. USA.

- Real-Cosío, S., Rodríguez-Álvarez, M., Luna-García, P., Briseño-Ruiz, S.E., Díaz-Ramírez, M. 2013. Aplicación de composta para producción de orégano (*Origanum vulgare*) y tomillo (*Thymus vulgaris*): su efecto en el contenido de aceites esenciales. Tríptico. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.
- Restrepo, B.L.F., Gómez, G.L.M., De Ossa R.G.C. 2012. Conocimiento y consumo de bebidas aromáticas en jóvenes en la ciudad de Medellín, Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 10(1):87-97.
- Robredo, A., Pérez-López, U., Sainz de la Maza, H., González-Moro, B., Lacuesta, M., Mena-Petite, A., Muñoz-Rueda, A. 2007. Elevated CO<sub>2</sub> alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis. *Environ Exp Bot*. 59:252-263.
- Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih F., Sangwan, R.S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *J Plant Growth Regul*. 34:3-21.
- Sepúlveda, J.I. 2012. El orégano en la península de Baja California. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 27:273-280.
- Shaalán, M.N. 2005. Influence of bio-fertilization and chicken manure on growth, yield and seeds quality of *Nigella sativa*, L. plants. *Egypt J Agric Res*. 83:811-828.
- Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2015. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. <http://www.siap.gob.mx> (Fecha de Consulta: 06 Enero 2015).
- Soto, G., Meléndez, G. 2004. Como medir la calidad de los abonos orgánicos. *Manejo integrado de plagas y agroecología*. Costa Rica. No. 72. pp. 91-97.
- Swaefy H., Weaam, M.F., Sakr, R.A, Sabh, A.Z., Ragab, A.A. 2007. Effect of some chemical and bio-fertilizers on peppermint plants grown in sandy soil. *Annals Agric Sci Ain Shams Univ*. 52:451-463.
- Takai, T., Kondo, M., Yano, M., Yamamoto, T. 2010. A quantitative trait locus for chlorophyll content and its association with leaf photosynthesis in rice. *Rice* 3:172-180.
- Villegas-Espinoza, J.A., Briseño-Ruíz, S.E., Aguilar-García, M.G.J., Sosa y Silva Carballo, R.A. 2013. Guía de cultivo de tarragón Francés Edit. Centro De Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 30 p.

Wittmann, C., Aschan, G., Pfanz, H. 2001. Leaf and twig photosynthesis of young beech (*Fagus sylvatica*) and aspen (*Populus tremula*) trees grown under different light regime. *Basic Appl Ecol.* 2:145-154.

Yeh, D.M. 1996. Manipulation and Predictive Modeling of Flowering in *Cineraria*. PhD. Thesis. University of Nottingham, U.K.