

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE EDAFOLOGIA**

**SUSTRATOS Y NUTRICIÓN PARA LA  
PRODUCCIÓN DE ORÉGANO EN VIVERO**

**JAIME GÓMEZ GARCÍA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2015**

La presente tesis titulada: "**Sustratos y nutrición para la producción de orégano en vivero**" realizada por el alumno: **Jaime Gómez García** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

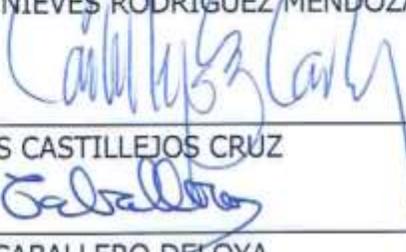
MAESTRO EN CIENCIAS  
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

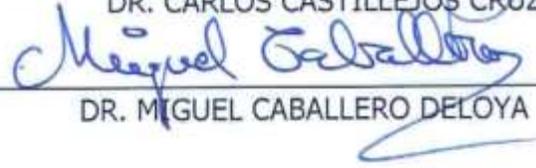
CONSEJERA

  
DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASESOR

  
DR. CARLOS CASTILLEJOS CRUZ

ASESOR

  
DR. MIGUEL CABALLERO DELOYA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2015.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados (COLPOS) por otorgarme un espacio dentro de sus instalaciones para lograr mi formación.

A la Dra. María de la Nieves Rodríguez Mendoza por haberme guiado de la mejor manera durante mi formación, por su amistad, comprensión, apoyo y confianza incondicional a lo largo de todo este tiempo.

Al Dr. Calos Castillejos Cruz por sus contribuciones y observaciones oportunas realizadas para la mejora de esta investigación, por su apoyo y amistad.

Al Dr. Miguel Caballero Deloya por realizar las observaciones pertinentes a este trabajo.

A mis profesores por los conocimientos otorgados para la realización de esta investigación.

Al personal de campo y laboratorio del área de Edafología por haberme brindado su apoyo así como las herramientas para la realización de mi investigación.

A mis compañeros y especialmente a Daniel Alarcón por su apoyo y momentos de alegría que hicieron más amena mi estancia en la Maestría.

A la familia Aguirre Rodríguez por las atenciones brindadas y cobijarme como un miembro más de su familia.

## DEDICATORIA

A mi madre, Marcela García P.

A mi padre, Jaime Gómez B.

Por su apoyo y comprensión incondicionales en todo momento durante esta etapa y a lo largo de mi vida.

A mi familia porque siempre están al pendiente de mí y seguir siendo un buen ejemplo para ellos.

A ti Daniela Danaé Aguirre Rodríguez por haber llegado a mi vida, darme tu apoyo y comprensión sin importar las circunstancias para poder seguir adelante. Sé que nos queda mucho por vivir...te amo.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pag.</b>
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
Objetivo general.....	3
Objetivos particulares.....	3
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>4</b>
Hipótesis general.....	4
Hipótesis particulares.....	4
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>5</b>
Recursos forestales no maderables.....	5
Orégano.....	5
Descripción botánica del orégano.....	6
Fenología del cultivo de orégano.....	7
Usos del orégano.....	7
Importancia económica y cultivo del orégano.....	8
Semilla y germinación.....	10
Semilleros y producción en vivero manejo tradicional.....	11
Sustratos en la producción de plántulas.....	13
Sustratos alternativos.....	15
Modelos de crecimiento.....	16
Aceites esenciales de orégano.....	17
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>19</b>

<b>CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS DE ORÉGANO MEXICANO (<i>Lippia graveolens kunth</i>).....</b>	<b>22</b>
Resumen.....	22
Introducción.....	23
Materiales y métodos.....	24
Resultados obtenidos y discusión.....	25
Conclusiones.....	30
Literatura citada.....	31
 <b>CAPITULO II. SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE ORÉGANO MEXICANO.....</b>	 <b>33</b>
Resumen.....	33
Introducción.....	34
Materiales y métodos.....	35
Resultados obtenidos y discusión.....	45
Conclusiones.....	75
Literatura citada.....	76
 <b>CAPITULO III. FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN LA PRODUCCIÓN DE ORÉGANO MEXICANO EN INVERNADERO.....</b>	 <b>81</b>
Resumen.....	81
Introducción.....	81
Materiales y métodos.....	82
Resultados obtenidos y discusión.....	86
Conclusiones.....	98
Literatura citada.....	99
 <b>APÉNDICE 1.....</b>	 <b>102</b>
<b>APÉNDICE 2.....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>Cuadros</b>	<b>Pag.</b>
<b>CAPÍTULO I</b>		
<b>Cuadro 1.1</b> Características morfológicas generales de las núculas de <i>Lippia graveolens</i> .....		26
<b>Cuadro 1.2</b> Viabilidad mediante prueba de 2,3,5-cloruro de trifenil tetrazolio.....		28
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>Cuadro 2.1</b> Formulación de la solución Steiner.....		41
<b>Cuadro 2.2</b> Propiedades físicas de los sustratos .....		46
<b>Cuadro 2.3</b> Propiedades químicas de los sustratos .....		50
<b>Cuadro 2.4</b> Concentración de macronutrientes en los sustratos.....		54
<b>Cuadro 2.5</b> Concentración de micronutrientes en los sustratos.....		55
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>Cuadro 3.1</b> Tratamientos evaluados en fase de invernadero.....		83
<b>Cuadro 3.2</b> Formulación de producto comercial AXESTIM ®.....		83
<b>Cuadro 3.3</b> Formulación de la solución Steiner.....		84
<b>Cuadro 3.4</b> Rendimiento de aceite esencial.....		98

## LISTA DE FIGURAS

	Figuras	Pag.
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>		
<b>Figura 1.</b> Principales componentes del aceite esencial de orégano.....		18
<b>CAPÍTULO I</b>		
<b>Figura 1.1</b> Vista lateral y frontal de núculas pardas y verde-amarillento de <i>Lippia graveolens</i> .....		27
<b>Figura 1.2</b> Porcentaje de viabilidad a partir de la prueba de germinación directa.....		28
<b>CAPÍTULO II</b>		
<b>Figura 2.1</b> Porcentaje de germinación en almácigos con diferentes sustratos (tezontle, fibra de coco, peat moss, vermicompost).....		57
<b>Figura 2.2</b> (a) Cinética de altura de plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b)Efecto de los sustratos en la longitud de la parte aérea a los 63 dds .....		59
<b>Figura 2.3</b> (a) Cinética del desarrollo del área foliar en plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b)Efecto de los sustratos en el desarrollo del área foliar a los 63 dds .....		61
<b>Figura 2.4</b> (a) Cinética de la acumulación de biomasa en hojas de plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b) Efecto de los sustratos en la acumulación de biomasa en hojas a los 63 dds.....		62
<b>Figura 2.5</b> (a) Cinética de la acumulación de biomasa en tallos de plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b) Efecto de los sustratos en la acumulación de biomasa en tallos a los 63 dds.....		64
<b>Figura 2.6</b> (a) Cinética de la acumulación de biomasa seca total en plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds, (b) Efecto de los sustratos en la acumulación de biomasa total a los 63 dds.....		66
<b>Figura 2.7</b> Tasa de Asimilación Neta en plántulas de orégano.....		68
<b>Figura 2.8</b> Tasa de Crecimiento Relativo en plántulas de orégano.....		69
<b>Figura 2.9</b> Razón de Área Foliar en plántulas de orégano.....		70

<b>Figura 2.10</b> Área Específica Foliar en plántulas de orégano.....	71
<b>Figura 2.11</b> Razón de Peso Foliar en plántulas de orégano.....	73
<b>Figura 2.12</b> Tasa Absoluta de Crecimiento en plántulas de orégano.....	74

### CAPÍTULO III

<b>Figura 3.1</b> Altura de las plantas de orégano ( <i>Lippia graveolens</i> Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero.....	88
<b>Figura 3.2</b> Diámetro de tallo de las plantas de orégano ( <i>Lippia graveolens</i> Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero.....	90
<b>Figura 3.3</b> Número de hojas en las plantas de orégano ( <i>Lippia graveolens</i> Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero.....	92
<b>Figura 3.4</b> Número de ramas en las plantas de orégano ( <i>Lippia graveolens</i> Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero.....	93
<b>Figura 3.5</b> Peso fresco de raíz (a) y Peso seco de raíz (b) en las plantas de orégano ( <i>Lippia graveolens</i> Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero.....	95
<b>Figura 3.6</b> Placa cromatográfica de sílica gel destacando la presencia de carvacrol en el aceite esencial de orégano.....	97

## SUSTRATOS Y NUTRICIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE ORÉGANO EN VIVERO

Jaime Gómez García, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2015

El orégano mexicano, (*Lippia graveolens* Kunth) es un recurso forestal no maderable de las zonas áridas y semiáridas del país que tiene un gran potencial económico, gracias a sus propiedades, su demanda tanto nacional como internacional ha ido en aumento para ser utilizado en diversas industrias. Debido a que existe poco conocimiento para realizar una explotación racional del recurso, ha causado que las poblaciones de orégano en estado silvestre se hayan reducido. Por ello el objetivo de esta investigación es seleccionar un sustrato y solución nutritiva para la producción de plántulas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) y plantas para vivero. Para ello esta investigación se realizó en tres etapas; 1) caracterización de las semillas de orégano mexicano, 2) selección de sustratos en la producción de plántulas de orégano mexicano y 3) fertilización orgánica y mineral en la producción de orégano mexicano en invernadero. Dentro de los resultados sobresalientes se obtuvo que analizando las semillas, se confirmó que la especie con la se realizó la investigación fue *Lippia graveolens* Kunth cuya viabilidad promedio fue de 75%, sin importar el color de la semilla; de los sustratos evaluados en la producción de almácigos el que produjo una buena germinación y un mejor desarrollo de la especie fue el peat moss, debido a las buenas propiedades fisicoquímicas que presentó; en la etapa de invernadero se observó que la etapa de semillero es muy importante para que las plantas en invernadero presentaran un mejor crecimiento y que la fertilización mineral presenta mejores resultados, sin embargo en la producción de aceites esenciales la fertilización orgánica favoreció la cantidad de estos.

**Palabras Clave:** *Lippia graveolens* Kunth, Recurso forestal no maderable, semillas, fertilización orgánica y mineral, aceites esenciales.

# **SUBSTRATES AND NUTRITION FOR THE PRODUCTION OF OREGANO IN NURSERY**

**Jaime Gómez García, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2015**

Mexican oregano (*Lippia graveolens* Kunth) is a non-timber forest resources in arid and semi-arid areas of the country with great economic potential, thanks to its properties, both domestic and international demand has been growing for use in various industries. Because there is little understanding for a rational exploitation of the resource, it has caused populations of wild oregano have been reduced. Therefore the aim of this research is to select a substrate and nutrient solution for the production of seedlings of oregano (*Lippia graveolens* Kunth) and nursery plants. To do this research it was conducted in three stages; 1) characterization of the seeds of Mexican oregano, 2) selection of substrates in the production of seedlings of Mexican oregano and 3) organic and mineral fertilization in the production of greenhouse Mexican oregano. Among the outstanding results obtained by analyzing the seeds, it was confirmed that the species with the research was conducted was *Lippia graveolens* Kunth whose average viability was 75%, regardless of the color of the seed; substrates evaluated in the production of seedlings which produced good germination and better development of peat moss species was due to the good physicochemical properties presented; at the stage of gases it was observed that stage I seedbed is very important for the plants in the greenhouse presented better growth and mineral fertilization has better results, however in the production of essential oils organic fertilization favored the amount of these .

**Key words:** *Lippia graveolens* Kunth, non-timber forest resource, seeds, organic and mineral fertilization, essential oils.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El orégano es un recurso forestal no maderable de las zonas áridas y semi- áridas de México (SEMARNAT, 2011), que presenta gran potencial económico debido a su demanda nacional e internacional ya que además de sus propiedades como potenciador de sabor, presenta una gran cantidad de usos en distintas industrias como la farmacéutica y cosmética por sus propiedades antiinflamatorias, antisépticas, como esencia y fijador de olor en perfumes. También se estudian sus propiedades como conservador de alimentos, anticancerígeno y agroquímico con lo cual se puede reducir el impacto ambiental (INIFAP, 2010a; SEMARNAT, 2009 y Villa-Castorena *et al.*, 2011b).

México ocupa el segundo lugar como exportador de orégano con 31% del mercado, solo por detrás de Turquía con 65%, se exporta principalmente a Estados Unidos (90%) y en menor grado a Italia y Japón. Del género *Lippia graveolens* México es el principal exportador con 35 – 40 % del mercado internacional, produciendo cerca de 6,500 toneladas anuales, de las que 85 % se comercializa a Estados Unidos de América y 5 % a la Unión Europea; el resto (10 %) se consume en interior del país. *L. graveolens* es la especie que se aprovecha primordialmente a nivel nacional, su alta demanda se debe al contenido y alta calidad de aceite esencial en la hoja, con un costo promedio de 8 a 11 pesos por Kilo (Huerta, 1997; INIFAP, 2010a y García-Valenzuela, 2012).

El principal producto derivado de la hoja del orégano es el aceite esencial, que se comercializa en su mayoría a los Estados Unidos. El precio de este aceite alanza en promedio 170 dólares el litro, dependiendo de su calidad, la cual se mide por la concentración de timol y carvacrol (Villa-Castorena *et al.*, 2011b).

La gran demanda de orégano, tanto en el mercado nacional como el internacional, ha obligado a depender de poblaciones silvestres para satisfacerla, por lo que los pobladores de esas áreas han tenido que explotar este recurso lo que ha

llevado a la afectación de las poblaciones naturales, así como también a alcanzar poca eficiencia en su producción debido a las malas prácticas de manejo, por lo que se ha visto seriamente reducida en superficie y densidad. Aun cuando numerosas familias lo recolectan, como parte de sus actividades de subsistencia muchas de las personas que explotan este recurso no consideran el daño ocasionado a la planta. (Flores- Hernández *et al.*, 2011; SEMARNAT, 2011 y García-Valenzuela, 2012).

La domesticación de las especie ha sido lenta y paulatina, además de lo poco conocido de su cultivo, son unas de las iniciativas más viables para tener un control eficiente de los procesos productivos, calidad del producto, y mayor regulación del mercado. Por lo que resulta importante estudiar algunos aspectos de su reproducción (Flores- Hernández *et al.*, 2011).

Por lo anterior el objetivo de la presente investigación es seleccionar un sustrato y solución nutritiva para la producción de plantas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) y plantas para vivero.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Seleccionar un sustrato y solución nutritiva para la producción de plántulas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) y plantas para vivero.

### **Objetivos particulares**

- ❖ Caracterizar el cultivo en función de su descripción botánica.
  
- ❖ Obtener un sustrato que favorezca la germinación y el desarrollo de la plántula con base en una adecuada aireación y humedad que requiere el cultivo.
  
- ❖ Generar una formulación para la nutrición de plantas de orégano una vez trasplantadas para cultivo en vivero.

## **HIPÓTESIS**

### **Hipótesis general**

La obtención de un sustrato ideal para orégano y su formulación nutritiva permitirá producir en formas masiva la planta a nivel de vivero así como su explotación más racional.

### **Hipótesis particulares**

- ❖ Con base en sus caracteres vegetativos se confirmará que la especie a trabajar será *Lippia graveolens* Kunth., orégano mexicano.
  
- ❖ El vermicompost por el contenido de promotores de crecimiento que presenta de forma natural, será el sustrato que favorezca la germinación y desarrollo de las plántulas.
  
- ❖ La solución Steiner como complemento en la nutrición será suficiente para el desarrollo del orégano.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Recursos forestales no maderables

Los recursos forestales no maderables (RFNM) son bienes que incluyen hojas, fibras, raíces, rizomas, cortezas, gomas, frutos y en algunos casos plantas vivas, algunos de los cuales se han explotado con fines comerciales. En México, se han identificado aproximadamente 5,000 taxa de plantas útiles. Los productos obtenidos de los (RFNM) son numerosos y diversos. Sus usos van desde el ámbito doméstico hasta el industrial (García-Valenzuela, 2012).

Los productos no maderables, aprovechables en zonas áridas y semiáridas, se concentran en especies como candelilla (*Euphorbia antisiphylitica*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), nopal (*Opuntia spp.*), palmilla (*Nolina spp.*), numerosas cactáceas (*Pereskiaopsis spp.*, *Hylocereus spp.*, *Mammillaria spp.*, *Lophophora williamsii*, etc.), magueyes (*Agave spp.*), gobernadora, (*Larrea tridentata*), jojoba (*Simmondsia chinensis*), palo fierro (*Olneya tesota*), yuca (*Yucca carnerosana*, *Yucca sp.*), sotol (*Dasylyrion sp.*), damiana (*Turnera diffusa*), zarzaparrilla (*Smilax spp.*), mezquite (*Prosopis spp.*), cortadillo (*Nolina cespitifera*), orégano (*Lippia spp.*), entre otras. La SEMARNAT, describe a siete especies con gran importancia socioeconómica y ecológica, entre las cuales se encuentra el orégano (*Lippia spp.*) (García- Valenzuela, 2012).

### Orégano

El orégano es el nombre común, aplicado a más de 60 especies y subespecies pertenecientes a las familias Lamiaceae y Verbenaceae, de las cuales las más importantes son el orégano del mediterráneo (*Origanum vulgare* subsp. *hirtum*, *O. vulgare* subsp. *gracite*) y el orégano mexicano (*Lippia graveolens* y *L. palmeri*). En México se le denomina orégano a alrededor de 40 especies pertenecientes a cuatro familias botánicas *Asteraceae*, *Lamiaceae*, *Fabaceae* y *Verbenaceae*. La característica que distingue a la mayoría es su extraordinario poder saborizante (Huerta, 1997 y Ocampo-Velázquez *et al.*, 2009).

Las especies de la familia Verbenaceae son las de mayor importancia de acuerdo con sus características aromáticas y su distribución. Estas especies se localizan en las zonas áridas y semi-áridas del país, así como en algunas regiones tropicales. La mayoría de estas, se ubican en los géneros *Lantana* y *Lippia* con dos y tres especies respectivamente, de ellas, *Lippia graveolens* Kunth es una de las más frecuentemente utilizadas (SEMARNAT, 2011).

### **Descripción botánica del orégano**

*Lippia graveolens* HBK es un arbusto hasta de 3 m de alto, aromático al estrujarse; ramas estrigosopubérulas o a veces pilosas, las principales a menudo con corteza exfoliante; hojas opuestas, peciolo delgado, de 2 mm a 2 cm de largo, lámina angostamente ovada a oblonga o elíptica, de 1 a 6 cm de largo, de 0.4 a 3.5 cm de ancho, ápice por lo general obtuso a redondeado, a veces agudo, base obtusa a subcordada, pero con cierta frecuencia también diminuta y abruptamente cuneada, margen más o menos regularmente crenado, de textura cartácea, haz reticulado-rugoso, estrigoso-piloso a casi glabro, envés pubérulo a tomentoso; inflorescencias en forma de espigas cortas, cónicas a cilíndricas, de 4 a 15 mm de largo, por lo general agrupadas en fascículos de 2 a 4 en las axilas de las hojas, sobre pedúnculos de 2 a 15 mm de largo, brácteas comúnmente ordenadas en 4 hileras, persistentes, ovadas a suborbiculares, de 2 a 3 mm de largo, conduplicado-aquilladas, agudas a acuminadas en el ápice, densamente piloso-vilosas por fuera; cáliz comprimido, inconspicuamente 4-dentado, de 1 a 2 mm de largo, piloso-viloso; corola blanca a amarilla, hipocraterimorfa, tubo de 3 a 6 mm de largo, pubérulo por fuera; estambres 4, didínamos, anteras ovaladas, insertos en la mitad del tubo de la corola, generalmente inclusos; ovario globoso, bilocular, con un óvulo por lóbulo, estilo breve, estigma brevemente bilocado, oblicuo o recto; frutos parciales 2, pequeños, secos, envueltos por el cáliz persistente, separables fácilmente en la madurez, de paredes papiráceas o subóseas. Toda la planta posee unas pequeñas glándulas donde esta almacenada la esencia aromática, de color amarillo limón (Rzedowki y Calderón, 2002; INIFAP, 2010b).

## **Fenología del cultivo de orégano**

Planta perenne cuya producción de follaje en las poblaciones silvestres se inicia unas dos semanas después de presentarse las primeras lluvias, concluyéndose en su totalidad aproximadamente seis semanas después. Cuando el temporal de lluvias y la humedad del suelo se van agotando las hojas verdes empiezan a cambiar al color amarillo y finalmente se desprenden unas seis semanas después.

La floración inicia unas siete semanas después de la formación del follaje, teniendo la característica de autopolinizarse.

Los frutos son cápsulas secas, que se forman de dos a tres semanas después de iniciada la floración, el tiempo de maduración coincide con el amarillamiento y caída de las hojas, variando el periodo de acuerdo con la zona geográfica, aunque de manera general esto ocurre entre octubre y noviembre, periodo recomendable para coleccionar la semilla.

Las semillas son de color café, de forma ovoide y de tamaño menor a 0.5 milímetros. Se ha estimado que en un kilogramo existen alrededor de 2'100,000 semillas. Bajo condiciones óptimas de humedad y de temperatura (15 a 20°C), la semilla germina después de una semana (SEMARNAT, 2011).

## **Usos del orégano**

Dentro de los principales usos del orégano mexicano se encuentran:

- **Alimenticio.** La hoja seca de orégano que se comercializa en el mercado nacional se destina a la elaboración de productos alimenticios como potenciador del sabor y conservador natural.
- **Industrial.** El Timol y Carvacrol son aceites esenciales que se obtienen de las plantas de orégano. Se extraen principalmente en empresas estadounidenses y europeas que los comercializan a nivel mundial para emplearse en la industria alimenticia como inhibidor de crecimiento de hongos contaminantes y bacterias patógenas relacionadas con los alimentos (*E. coli*, *S. aureus*, *L.*

*monocytogenes*, *B. cereus*, *Salmonella* sp.). En alimentos procesados se emplea como antioxidante para la elaboración de embutidos y conservas como: salmón, atún y sardinas. En la industria refresquera y licorera el orégano se utiliza como fijador y saborizante. También es utilizado en la fabricación de aceite para aeronáutica, limpieza de piezas automotrices y en la elaboración de veladoras.

- **Medicinal.** Los aceites esenciales que tiene el orégano, poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antisépticas y antiparasitarias gracias a sus propiedades organolépticas. El aceite esencial de orégano es un potente fungostático, y un excelente agente antibacterial que ataca la mayoría de bacterias patogénicas, tales como *Streptococos* y *Estafilococos*. Se emplea para la tos, catarro y bronquitis, además se afirma que actúa como expectorante, interviene en el tratamiento de cólicos estomacales, diarrea y para la digestión.
- **Agroindustrial.** La especie tiene un gran potencial fungicida en granos almacenados de trigo e insecticida, por lo que puede ser utilizado en lugar de los agroquímicos y así reducir el impacto ambiental.
- **Cosmético.** El extracto de aceite de orégano se usa como esencia y fijador de olor de perfumes de marcas comerciales reconocidas, así como en la manufactura de jabones y productos de aromaterapia (INIFAP, 2010a y SEMARNAT, 2009).

### **Importancia económica y cultivo del orégano**

El orégano es un importante recurso en el mercado internacional. Turquía y México, son los principales proveedores con el 65% y 31% de la producción respectivamente. De la especie *L. graveolens*, México es el mayor exportador cubriendo hasta el 40% del mercado al producir cerca de 6,500 toneladas anuales, de estas, 85 % se comercializan a Estados Unidos de América, 5 % a la Unión Europea y el 10 % restante se consume en el país. La buena demanda de la especie se debe principalmente a la calidad del aceite esencial presentes en las hojas, por lo cual industrias farmacéuticas, alimenticias, cosmética, entre otras, de países como Reino

Unido, Alemania, Francia y Canadá lo utilizan como materia prima; lo que le ha permitido un mayor despegue a su comercialización en los últimos años (Huerta, 1997, INIFAP, 2010a y Villa-Castorena *et al.*, 2011b).

En el 2005 la producción anual de orégano en México fue de 368.05 ton., con un valor de poco más de 3.9 millones de pesos. Entre 2003 y 2008 se registró un aumento en las compras de orégano en el mundo. Los principales estados productores de orégano son, Chihuahua, Durango, Tamaulipas, Coahuila, Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y Baja California Sur (Villa-Castorena *et al.*, 2011b y Flores- Hernández *et al.*, 2011). Hasta el 2011, el orégano se considera como un recurso potencial de gran valor económico del cual se exporta el 90% de la producción nacional, por la superioridad de su composición química la calidad del aceite esencial es mejor, comparado con el proveniente de Grecia y Turquía (INIFAP, 2010a y García-Valenzuela, 2012).

De esta planta se cosechan las hojas y las flores. La época ideal para la recolección de las hojas es en plena floración (en general, durante el verano), antes de que abran todas las flores. El rendimiento, expresado en producto verde, oscila entre tres y cuatro toneladas por hectárea en el primer año de plantación. En el secado de las hojas se pierde peso, al pasar de verdes a secas. El producto puede destinarse también a la extracción de la esencia. Los rendimientos son muy variables según la zona de cultivo, aunque oscilan alrededor de dos kilogramos de aceite esencial por tonelada métrica, lo que significa un rendimiento medio por hectárea de 30 kilogramos de aceite esencial. (SEMARNAT, 2011).

Debido a que la demanda de orégano ha ido incrementando en el mercado nacional como el internacional, ha obligado a la explotación de poblaciones silvestres para satisfacerla. Sin embargo la pobreza de estas zonas es un factor que pone en riesgo la estabilidad del recurso, afectación de las poblaciones naturales, así como también a alcanzar poca eficiencia en su producción por motivo de las malas prácticas de manejo, la falta de información y capacitación sobre los instrumentos que permiten su uso o protección (SEMARNAT, 2011 y García-Valenzuela, 2012).

El problema que se presenta principalmente en algunas zonas de producción es que la planta se corta al ras del suelo y la recolección de las semillas coincide con la floración, con lo que se afecta su recuperación para el siguiente ciclo. Lo cual afecta a las poblaciones que se han visto seriamente reducidas en superficie y densidad (Flores- Hernández *et al.*, 2011 y SEMARNAT, 2011).

Aun cuando numerosas familias lo recolectan para su venta, como parte de sus actividades de subsistencia, lo que representa una parte fundamental de la economía campesina, muchas de las personas que explotan este recurso no consideran el daño ocasionado a la planta a pesar de que existe legislación y reglamentación para el manejo y aprovechamiento de este recurso bajo la norma Oficial Mexicana NOM-007-RECNAT- 1997, que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de ramas, hojas, flores, frutos y semillas (García-Valenzuela, 2012).

La domesticación de la especie se ha dado de manera lenta y paulatina debido a muchas de las interrogantes propias del sistema de producción. Sin embargo, la investigación realizada confirma la bondad de esta planta bajo cultivo permite predecir mayores rendimientos que los obtenidos en plantas silvestres. No obstante lo poco conocido de su cultivo, es una de las iniciativas más viables para tener mejor control de los procesos productivos y calidad del producto, y con ello mayor regulación del mercado por lo que resulta importante estudiar algunos aspectos de su reproducción (Flores- Hernández *et al.*, 2011).

### **Semilla y germinación**

Estudios sobre la propagación de *L. graveolens* a partir de semillas indican que es una especie que presenta porcentajes de germinación del 47 al 70%, la cual se da en un periodo de 12 a 18 días aproximadamente, las semillas pueden presentar latencia. La mejor época para coleccionar la semilla es cuando la cápsula (fruto) ya está seca y de un color café, lo cual ocurre de noviembre a enero, si se colecciona la semilla cuando la planta todavía tiene mucho follaje se corre el riesgo de que aún sea

inmadura y de que no se tenga la viabilidad esperada (SEMARNAT, 2011). En cuanto a la calidad, comprende varios atributos:

- **Genética.** Es la inherente a la variedad porque proporciona el potencial para un buen rendimiento, mejor calidad de semilla y mayor tolerancia a estrés biótico y abiótico.
- **Fisiológica.** Explicada por tres características que son la viabilidad, expresa el grado al cual una semilla está viva, metabólicamente activa y posee enzimas capaces de catalizar reacciones bioquímicas necesarias para la germinación y crecimiento de la plántula; la germinación, definida como la emergencia de la radícula a través de la cubierta de la semilla así como de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una plántula normal bajo condiciones favorables y el vigor, que aseguran un buen porcentaje de germinación, velocidad y uniformidad de la germinación de la semilla y crecimiento de la plántula.
- **Física.** Referida al tamaño, peso y uniformidad de las semillas, así como a la pureza que es la ausencia de semillas de otros cultivos, de malezas y materia inerte.
- **Sanitaria.** Es la ausencia de todo agente que causa infección o infestación en las semillas, como pueden ser hongos, bacterias, virus, nemátodos, insectos, entre otros (González- Hernández, 2013).

### **Semilleros y producción en vivero manejo tradicional**

Un almácigo es un área de superficie reducida ubicada en un lugar adecuado que debe presentar facilidad de manejo, en donde se siembran las semillas y se les proporciona la atención requerida durante la germinación y emergencia de la plántula, desde los estadios iniciales de crecimiento hasta el momento del trasplante y colocación en un sitio definitivo donde completarán su ciclo productivo. En esta etapa los cuidados son de vital importancia ya que de ello depende la calidad y

uniformidad del material vegetal reproducido (Anónimo, 2010; González-Nieves *et al.*, 2010; Antonio, 2008).

En caso de orégano, el almácigo puede ser establecido a finales de otoño, invierno o a principios de primavera, esto dependiendo de la fecha en la que se desee el trasplante; además de que la producción de plántula en esta especie permite desarrollar plantas con mejor adaptación y rápido crecimiento cuando son llevadas a campo, la siembra se hace de forma manual de cuatro a cinco semillas por cavidad. (Villa-Castorena *et al.* 2011b)

El trasplante a campo se realiza cuando las plantas tienen entre 10 y 15 centímetros de altura esto es en un periodo de 65 a 70 días después de la siembra. El trasplante por lo general se realiza en campo (trasplante tradicional), sin embargo existe la práctica de trasplante en maceta, el cual se realiza principalmente para replantar las plantas que no lograron arraigarse en campo. Esta práctica se realiza en bolsas para vivero utilizando tierra de monte como sustrato con riegos pesados en un principio para asegurar el prendimiento, con esta práctica se logra arraigar un alto porcentaje de plantas que posteriormente podrán ser trasplantadas a campo (Silva, 1999).

Al momento de la siembra los riegos deben ser con rocío para evitar levantar el sustrato y perder semilla una vez germinadas y durante los primeros 30 días las plántulas son frágiles por lo que los riegos se deben de hacer cuidadosamente para no dañarlas con el impacto de las gotas. Estos riegos deben de ser ligeros principalmente después de la emergencia cada dos días, aumentando cuando las plántulas tengan más de dos centímetros, los riegos pesados y continuos deben evitarse ya que pueden ocasionar enfermedades radiculares (SEMARNAT, 2011 y Villa-Castorena *et al.*, 2011b).

Los riegos en campo se realizan al momento del trasplante, repitiéndolo al tercer y a los 20 días, debido a que el trasplante se debe realizar cercano a la

temporada de lluvias. En caso de que se utilice sistema de riego, se recomienda que los riegos sean ligeros para evitar el estancamiento del agua (Silva, 1999).

Dado que el orégano es una planta silvestre en proceso de domesticación, habría que realizar varios trabajos sobre el uso y requerimientos de nutrientes por la planta ya que, su valor comercial está en las hojas principalmente, por lo que tendrá más demanda de nitrógeno; pero como también tiene otros usos además del alimenticio, habría que evaluar sus requerimientos nutricionales como cualquier otro cultivo (SEMARNAT, 2011).

En plántulas se han realizado pruebas regando con agua hasta la aparición de las primeras hojas verdaderas, después con una solución nutritiva a una concentración de 20-40-30 hasta 60-80-90 mg·L<sup>-1</sup> de N, P y K. Ya en campo se han realizado algunos experimentos en donde se encontraron buena respuesta con 92 Kg/ha de N y 120-25-00 N P K. En el caso de *Origanum vulgare*, (orégano europeo), se aplican de 120 a 150 Kg de nitrógeno por hectárea, de 80 a 100 Kg de fósforo por hectárea y de 100 a 120 Kg de potasio (Villa-Castorena *et al.*, 2011a y SEMARNAT, 2011).

### **Sustratos en la producción de plántulas**

Un sustrato es todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo, que de forma pura o en mezcla y colocado en un contenedor permite el anclaje del sistema radical sirviendo de soporte para la planta, puede intervenir en el proceso de la nutrición mineral de la planta, por ser químicamente activo o por adquirir esa modalidad con el tiempo (Ríos-González, 2010).

Actualmente se investigan sustratos para el crecimiento de plantas buscando nuevos materiales donde además de proporcionar mejores condiciones de crecimiento, se disminuyan los costos (Cruz-Crespo, 2010). Un buen sustrato se reconoce por sus propiedades físicas y químicas. La caracterización física es fundamental, mientras que la caracterización química viene a ser menos relevante

debido a que los materiales deben ser relativamente inertes y los nutrimentos se suministran de manera exógena mediante una solución nutritiva (Rodríguez-Guillén, 2006).

Autores como Cabrera, (1998); Abad *et al.*, (2004); Urrestarazu, (2004) y Cruz-Crespo, (2010), proponen la siguiente clasificación de los materiales que pueden ser utilizados como sustratos:

#### I- Materiales orgánicos.

- De origen natural: sujetos a descomposición biológica (turberas, cortezas, maquiame, entre otros).
- De síntesis: polímeros orgánicos no biodegradables como la espuma de poliuretano y poliestireno expandido.
- Subproductos y residuos de actividades agrícolas, industriales y urbanas: los cuales deben experimentar un proceso de composteo para su adecuación como sustratos (estiércoles, cascarilla de arroz, pajas de cereales, corteza de árboles, bagazo de caña, polvo y fibra de coco, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, entre otros).

#### II- Materiales inorgánicos (minerales).

- De origen natural: rocas o minerales de origen diverso, modificándose ligeramente, mediante tratamientos físicos sencillos (arenas, grava, tezontle, piedra pómez, entre otros.)
- Transformados o tratados: son rocas minerales, que por tratamientos físicos y químicos modifican las características de los materiales originales (agrolita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, entre otros).
- Residuos y subproductos industriales: materiales procedentes de distintas actividades industriales (escorias de alto horno, estériles de carbón, entre otros).

Las propiedades físicas son consideradas las más importantes, ya que si la estructura física de un sustrato no es la adecuada, difícilmente se puede mejorar una vez que se ha establecido el cultivo. En tanto que, las propiedades químicas sí pueden ser modificadas aun cuando el cultivo ya se haya establecido. (Cabrera, 1998; García *et al*, 2001; Valenzuela y Gallardo, 2002).

Las propiedades consideradas ideales en un sustrato son: 1) físicas, porosidad total de 70-85%; capacidad de retención de agua 55-70%; porosidad de aire 10-20%; agua disponible para las planta  $\geq 30\%$  y un peso húmedo 1.0-1.5 KgL<sup>-1</sup>. Y 2) químicas, pH en un intervalo de 5-6 y la conductividad eléctrica (CE) de 1.0-2.0 dsm<sup>-1</sup> (Cabrera, 1998).

Entre los sustratos que se utilizan con mayor frecuencia en la producción de almácigos de oréganos se encuentran: turba o peat moss, compost, perlita, vermiculita, arena y corteza de pino. En etapa de trasplante lo más común es utilizar: suelo franco arcilloso, suelo franco arenoso y arena blanca (Castro, 2004; SEMARNAT, 2011; Silva- Vázquez *et al.*, 2012 y Villa-Castorena *et al.*, 2011b).

### **Sustratos alternativos**

Este término se utiliza para identificar aquellos sustratos con los cuales se busca no explotar recursos no renovables, así como aquellos que ayudan a la eliminación o reducción de residuos industriales. La turba es uno de los sustratos utilizados en mayor medida para la producción debido a sus propiedades físicas y químicas, sin embargo genera problemas ecológicos ya que la explotación de turberas poco mesurada está agotando este recurso no renovable. Como una alternativa para disminuir el impacto que ocasionan la explotación de la turba se han introducido sustratos alternativos que puedan sustituir a los tradicionales, como ejemplo se encuentran la fibra de coco y el vermicompost, con este último se han hecho esfuerzos por potenciar y desarrollarlo comercialmente al ser menos agresivo con el ambiente al reciclar los residuos (Urrestarazu, 2004 y Mazuela *et al.*, 2007).

## Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento han sido desarrollados para conocer las causas que determinan el crecimiento de las plantas así como su rendimiento, debido a que las distintas especies vegetales presentan diferencias importantes en cuanto a su capacidad de crecimiento aun encontrándose bajo condiciones similares de cultivo. (Villar *et al*, 2004).

El concepto central de estos modelos es la tasa de crecimiento relativo (TCR), que se define como el incremento de biomasa total por unidad de biomasa y tiempo. El método más utilizado en el cálculo de la TCR consiste en seleccionar un número suficiente de plantas en tiempos distintos, lo cual es una condición necesaria para poder calcular su TCR, que se obtiene con los promedios del peso en los dos tiempos distintos (Palomo *et al.*, 2003 y Villar *et al*, 2004). Los índices que se emplean en la medición de las tasas de crecimiento son:

- **La razón de área foliar (RAF)** es la relación de área foliar y peso total de la planta. Se expresa en  $\text{m}^2$  (hoja)  $\text{Kg}^{-1}$  (planta).
- **El área específica foliar (AEF)** es la relación de área foliar y peso de hoja. Se expresa en  $\text{m}^2$  (hoja)  $\text{Kg}^{-1}$  (hoja).
- **La razón de área foliar (RAF)** es igual al producto de AEF por PH:  $[\text{m}^2$  (hoja)  $\text{Kg}^{-1}$  (planta)] =  $[\text{m}^2$  (hoja)  $\text{Kg}^{-1}$  (hoja)]  $\times$  [ $\text{Kg}$  (hoja)  $\text{Kg}^{-1}$  (planta)]
- **La tasa de asimilación neta (TAN)** es la tasa de incremento en el peso seco de la planta por unidad de área foliar. Se expresa en  $\text{Kg}$  (planta)  $\text{m}^{-2}$  (hoja)  $\text{día}^{-1}$ .
- **La tasa de crecimiento relativo (TCR)** es igual al producto de RAF por TAN:  $[\text{Kg} \text{Kg}^{-1} \text{día}^{-1}] = [\text{m}^2$  (hoja)  $\text{Kg}$  (planta)]  $\times$  [ $\text{Kg}$  (planta)  $\text{m}^2$  (hoja)  $\text{día}^{-1}$ ]
- **La proporción de tallo (PT)** es la relación de biomasa de tallo y biomasa total de la planta. Se expresa en  $\text{Kg}$  (tallos)  $\text{Kg}^{-1}$  (planta).
- **La proporción de raíz (PR)** es la relación de biomasa de raíz y biomasa total de la planta. Se expresa en  $\text{Kg}$  (raíz)  $\text{Kg}^{-1}$  (planta).

- **El contenido de materia seca (CMS)** es la relación de peso seco y el peso fresco de la planta. Se expresa en Kg (peso seco) Kg<sup>-1</sup> (peso fresco).

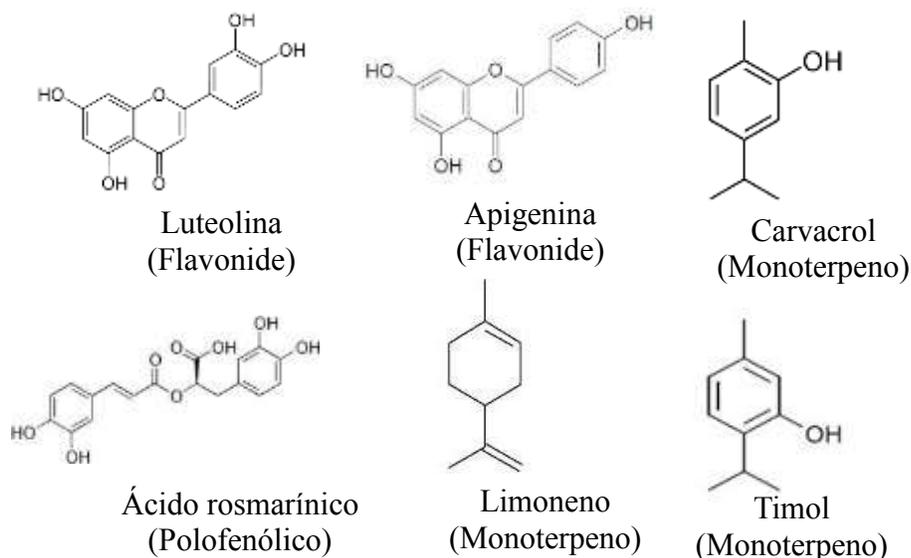
La capacidad productiva de una especie vegetal en un sitio geográfico determinado se conoce como potencial productivo, que es cuando la planta puede aprovechar al máximo todos los factores ambientales disponibles para promover su desarrollo y rendimiento. En el caso del orégano, el rendimiento se refiere a la producción máxima de follaje obtenido, en condiciones naturales o por medio de prácticas agronómicas. El potencial de producción puede ser estimado con la medición de variables morfológicas como son altura y diámetro, en combinación con la biomasa en peso seco de una especie. La información de estas variables ha sido utilizada para la elaboración de tablas de predicción de generación de biomasa del orégano, las cuales han sido utilizadas para elaborar estudios técnicos justificativos para el aprovechamiento del orégano (Flores-Rivera, 2009 y Villavicencio, 2008).

### **Aceites esenciales de orégano**

Los aceites esenciales son mezclas de sustancias aromáticas de compuestos terpénicos, que se localizan en distintos órganos de las plantas como: hojas, flores, semillas, corteza, raíces o frutos (Flores-Rivera, 2009). La composición química del orégano es compleja y depende de factores como: los climáticos, época de colecta, fenología de la planta, altitud del lugar de crecimiento, procedimiento de deshidratación y condiciones de almacenamiento. Por lo que el estudio de dichos factores y su influencia en el cultivo son importantes para un mejor aprovechamiento y explotación. En comparación con el orégano europeo, el mexicano posee hojas más oscuras además de un olor y un sabor más fuerte. Asimismo, se sabe que la concentración de aceites es mayor en plantas jóvenes, y que dicho valor no se afecta por la cantidad de agua que recibe la planta durante su desarrollo, además las sustancias químicas son fáciles de obtener y analizar en el aceite esencial del orégano, mientras que su concentración es una de las variables utilizadas para la

clasificación genética entre especies (Arcila *et al.*, 2004; Turgut y Silva, 2005; Arana-Sánchez *et al.*, 2010).

Los géneros de orégano, *Origanum* y *Lippia*, presentan diferencia en el tipo y cantidad de compuestos fitoquímicos identificados en los vástagos, que de acuerdo con su naturaleza, pueden clasificarse en: compuestos volátiles, lípidos y fenólicos (García *et al.*, 2012). Los compuestos volátiles son los principales responsables de las características sensoriales presentes en el orégano y otras plantas, dado que su concentración modifica el olor y el sabor de las hojas. Dentro de los compuestos volátiles encontrados se encuentran: terpenos, sesquiterpenos, alcoholes y aldehídos. En la especie *L. graveolens*, se ha determinado que la composición del aceite esencial contiene monoterpenos, sesquiterpenos y ácidos fenólicos; siendo los principales el carvacrol y timol (Figura 1). En el género *Lippia* no existen reportes de lípidos. Dentro del grupo de los compuestos fenólicos se incluyen los flavonoides, metabolitos secundarios. En *L. graveolens* los flavonoides identificados incluyen a la luteolina, taxifolina, quercetina y naringenina (García *et al.*, 2012; Arana-Sánchez *et al.*, 2010)



**Figura 1.** Principales componentes del aceite esencial de orégano.

## LITERATURA CITADA

- Abad, M.** Noguera, P. y Carrión, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. P. 113-158. En: M. Urrestarazu (ed.). Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 914 pp
- Anónimo.** 2010. Monografía del pepino. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. México.
- Antonio G.J.** 2008. Evaluación de la cascarilla de café para utilizarse como sustrato en cultivo sin suelo de hortalizas. Tesis de maestría en ciencias, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Unidad Oaxaca. 69 pp.
- Arana-Sánchez A.,** M. Estarrón-Espinosa, E. N. Obledo-Vázquez., E. Padilla-Camberos, R. Silva-Vázquez and E. Lugo-Cervantes. 2010. Antimicrobial and antioxidant activities of Mexican oregano essential oils (*Lippia graveolens* H. B. K.) with different composition when microencapsulated in b-cyclodextrin. Letters in Applied Microbiology, 50 (6):585-590
- Arcila C.;** Lorca G.; Lecona S y González E. 2004. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 54 (1):100-111.
- Cabrera R.I.** 1998. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 5-11.
- Castro H.,** F.S. 2004. Evaluación agronómica de frecuencias de corte y densidades de siembra de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K.), en el Centro de Agricultura Tropical Bulbuxya, San Miguel Panan, Suchitepéquez. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, instituto de investigaciones agronómicas. Guatemala. 43 pp
- Cruz-Crespo E.** 2010. Mezclas de vermicompost y tezontle, diseñadas mediante un programa de optimización en SAS, para el cultivo de tomate bajo invernadero e hidroponía. Tesis de doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 86 pp.
- Flores-Hernández A. J. A.** Hernández-Herrera, H. Madinaveitia-Rios, L. M. Valenzuela-Núñez, B. Murillo-Amador, E.O. Rueda-Puente, J. L. García-Hernández and H.G. Ortiz-Cano. 2011. Evaluation of natural populations and habitat of blue palm (*Yucca rigida*) in Mapimí, Durango, México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 14: 315 - 321
- Flores-Rivera E.** 2009. Potencial productivo del orégano (*Lippia graveolens* hbk.) Y calidad de su Aceite esencial en dos localidades del Mezquital, Dgo. Tesis. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango.
- García C.O.,** Alcántar G.G., Cabrera R.I., Gavi R.F. y Volke H.V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra Latinoamericana 19(3): 249-258.

- García, P.E.,** Castro A. F. F, Gutiérrez U. J. A. y García L. S. 2012. Revision of the production, phytochemical composition, and nutraceutical properties of Mexican oregano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (2). 339-353.
- García-Valenzuela N. A.** 2012. Aprovechamiento de orégano silvestre (*Lippia spp.*), en la comunidad de Tesila, el Fuerte, Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales. Universidad Autónoma Indígena de México. Institución Intercultural del Estado de Sinaloa. 38 pp.
- González- Hernández, O. A.** 2013. Germinación y longevidad de semillas de genotipos de pitahaya (*Hylocereus spp*) y pitaya (*Stenocereus spp*). Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado de recursos genéticos y productividad -Fisiología vegetal. Montecillo, Texcoco, estado de México.
- González- Nieves C.,** Arreola-Ávila J. G., García-Herrera G., Rodríguez-López J.S., Carrillo-Flores R., Esquivel-Arriaga O. y Villa-Castorena M. 2010. Efectos de tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de plántulas de orégano (*Lippia graveolens* HBK). *Revista Chapingo serie zonas Áridas*. 9:129-134
- Huerta C.** 1997. Orégano mexicano: oro vegetal. *CONABIO. Biodiversitas* 15:8-13
- INIFAP.** 2010a. Propuesta de Ordenamiento Productivo de las Regiones Áridas y Semiáridas del estado de Coahuila. México
- INIFAP.** 2010b. Metodología para determinar la existencia de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K.) en rodales naturales de Parras de la Fuente. Coahuila. México.
- Mazuela P.,** Salas M. C. and Urrestarazu M. 2007. Vegetable Waste Compost as Substrate for Melon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36 (11-12):1557-1572.
- Ocampo-Velázquez R.V.,** Malda-Barrera G. X y Suárez-Ramos G. 2009. Biología reproductiva del orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) en tres condiciones de aprovechamiento. *Agrociencia*. 43: 475-482.
- Palomo G.A.,** Orozco V.J.A., Gutiérrez del R.E., Espinoza B.A. y Rodríguez H.S. 2003. Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y convencionales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. Documento *online* <http://uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/cultbasicos/analisis.pdf> (consultado agosto 2014).
- Ríos-González P.** 2010. Automatización del riego en sustratos. Tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 160 pp.
- Rodríguez-Guillén A.** 2006. Injerto y composta para la producción intensiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de suelo y cultivo sin suelo en invernadero. Tesis de doctorado en Ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 98 pp.

- Rzedowski, J., y Calderón, G. R.** 2002. Verbenaceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 100. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío.
- SEMARNAT.** 2009. Manual que establece los Criterios Técnicos para el Aprovechamiento Sustentable de Recursos Forestales no Maderables de Clima Árido y Semiárido. México
- SEMARNAT.** 2011. Paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia spp.*). México
- Silva V., R.** 1999. El Orégano como una alternativa de producción agrícola sustentable para las zonas áridas y semiáridas. Folleto para productores No. 11. CIRENA- SEP- Fundación PRODUCE. Salaires, Chihuahua. México. 19 p.
- Silva-Vázquez R., M. Bejar-Hinojosa y M.E. Vázquez-Badillo** 2012. Producción de semilla mejorada de orégano *Lippia berlandieri* (Schauer). Sociedad Científica del Orégano. *On line*. <http://sociedadcientificadeloreganoac.blogspot.mx/2012/02/investigacion-del-oregano-7.html?view=sidebar> (Consultado enero 2015)
- Turgut D. N. and Silva, V. R.** 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture*, 7(1):20-22
- Urrestarazu M.** 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 914 pp
- Valenzuela O. y Gallardo C.** 2002. Un insumo clave en los sistemas de producción de plantines: Sustratos Hortícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Argentina. Documento *online* <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210663.pdf> (Consultado septiembre 2014).
- Villa-Castorena M., E.A. Catalán-Valencia, J.G. Arreola-Ávila, M. A. Inzunza-Ibarra y A. Román-López.** 2011a. Influencia de la frecuencia del riego en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* HKB). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 183-193.
- Villa Castorena M.M., E.A. Catalán-Valencia, M.A. Inzunza-Ibarra, A. Román-López y M.L. González-López.** 2011b. Producción de plántula de orégano para trasplante en campo. SAGARPA-INIFAP. México. 42p
- Villar R., Ruiz-Robledo J., Quero J.L., Poorter H., Valladares F. y Marañón T.** 2004. Tasas de Crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Valladares, F. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. 191-227.
- Villavicencio G. E. E.** 2008. Tablas de predicción del rendimiento de hoja seca de orégano (*Lippia graveolens* H. B. K.) para las poblaciones naturales de Coahuila. Ficha tecnológica por sistema producto

## CAPITULO 1

### CARACTERIZACIÓN DE LAS SEMILLAS DE ORÉGANO MEXICANO (*Lippia graveolens* Kunth)

#### RESUMEN

Para identificar correctamente la especie con la que se trabajó en esta investigación se realizó la identificación de los caracteres morfológicos de las semillas así como su viabilidad utilizando dos métodos, el de 2,3,5-cloruro de trifetil tetrazolio y el de viabilidad por germinación directa. Para identificar las semillas se utilizó un microscopio estereoscópico y se observó, su tamaño, forma, simetría, color y superficie y se describieron con literatura especializada; posteriormente para la viabilidad con tetrazolio se seleccionaron 200 semillas, 100 de color pardo y 100 de color verde amarillento las cuales se mantuvieron embebidas en una disolución al 0.5% de tetrazolio a 35°C por 24 horas, terminado este tiempo se realizaron cortes de las semillas bajo un microscopio estereoscópico para observar la tinción de las semillas y cuantificar las semillas teñidas; en la viabilidad por germinación directa se utilizaron 100 semillas de cada color las cuales fueron colocadas sobre papel filtro dentro de cajas Petri a las que se les agregó agua destilada y se mantuvieron a 28°C tapadas con un plástico negro y se cuantificaba diariamente la germinación. Como resultados se obtuvieron que de acuerdo con las características morfológicas de la semilla, se confirmó que la especie con la que se trabajó fue *Lippia graveolens* Kunth y que botánicamente el nombre correcto de la unidad de dispersión y reproducción de la especie es núcula y no semilla las cuales presentaron dos colores distintos: verde-amarillento y pardo. Con la prueba de viabilidad con tetrazolio se obtuvo 79% para núculas verde-amarillentas y 70% en núculas pardas, en la prueba de germinación directa el porcentaje fue de 80 y 70% respectivamente, en ambos resultados el análisis estadístico no mostró diferencias significativas en los resultados.

## INTRODUCCIÓN

Con el nombre de orégano se conocen más de 60 especies y subespecies de plantas que pertenecen principalmente a las familias Lamiaceae y Verbenaceae. Las más importantes son *Origanum vulgare* subsp. *hirtum*, *O. vulgare* subsp. *gracite* (orégano europeo) y *Lippia graveolens* y *L. palmeri* (orégano mexicano) (Huerta, 1997).

En México *Lippia graveolens* es una especie forestal no maderable de las zonas áridas y semiáridas. A nivel internacional, esta especie compite en el mercado con el *Origanum vulgare*, una especie aromática de Turquía. La producción nacional de *L. graveolens* está sujeta a la oferta y demanda internacional del producto. De 2003 al 2008 se registró un aumento a nivel mundial en comercialización del orégano, las ventas totales generadas sumaron más de 75 billones de euros. Considerando que existen varios países cuyas industrias farmacéuticas y alimenticias utilizan este producto como materia prima, se estima que el mercado de esta planta aromática tiende a incrementarse (Cano y Villavicencio, 2012).

La importancia comercial de *Lippia* se enfoca principalmente en el aprovechamiento de la hoja, que ha sido utilizada como condimento y antioxidante en alimentos y conservador. Actualmente se han desarrollado estudios sobre sus propiedades organolépticas, ya que los componentes del aceite esencial tienen propiedades medicinales, constituyendo un potente fungostático y agente antibacterial que ataca a la mayoría de bacterias patogénicas entre estas *Streptococos* y *Estapilococos*.

El orégano mexicano se extrae principalmente de poblaciones naturales, dicha explotación está reduciendo el área de distribución natural y la densidad de su población, el corte de esta planta coincide con aspectos importantes para el éxito reproductivo de la especie como lo es la floración y se altera el desarrollo de frutos y semillas. Este manejo a través de colectores (hábitos y costumbres) coloca en riesgo al género y especie debido a esto, los estudios sobre su reproducción han ido tomando mayor importancia. *L. graveolens* es una especie que desarrolla semillas de tamaño pequeño, esta característica es un factor que puede influir en el proceso de la germinación y por tanto en la supervivencia de las plántulas, por lo que conocer la

viabilidad y el porcentaje de germinación resulta de gran importancia(Enríquez-Peña *et al.*, 2004 y Ocampo- Velázquez *et al.*, 2009). Hasta la fecha la información disponible sobre la morfología de semillas, viabilidad y germinación de *L. graveolens* es muy general y en algunos casos contradictoria, por tal motivo el objetivo de este trabajo es aportar información sobre las características morfológicas diagnósticas de las semillas, viabilidad y porcentaje germinación en diferentes sustratos bajo condiciones de invernadero.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Especie y origen de las núculas.**

La semilla de *Lippia graveolens* se obtuvo en el Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRENA), ubicado en Chihuahua, México. El clima de esta región se clasifica como SB (seco) con una precipitación media anual de 363.9 mm y temperatura media anual de 18.3°C.

### **Caracterización de la núculas de *Lippia graveolens* kunth**

Con un microscopio estereoscópico marca Leica EZ4D se analizaron las características morfológicas de las semillas, se consideraron: tamaño, forma, simetría, color, y superficie. Estas se describieron con base en la terminología botánica especializada del glosario botánico ilustrado (Moreno, 1984) y diccionario de botánica (Font-Quer, 1979).

Las características de las semillas se cotejaron con información de la New England wild Flower Society, 2014; y la Sociedad Científica del Orégano, 2012 para asegurar la identidad taxonómica de la especie. Una vez identificadas las semillas, se realizó una selección separándolas en dos lotes: 1) semillas color verde-amarillento y 2) semillas color pardo.

### **Viabilidad por método de 2,3,5-cloruro de trifenil tertazolio (TTC).**

Se seleccionaron 100 semillas de cada color y se mantuvieron embebidas en agua destilada durante dos horas en cajas Petri. Trascurrido este tiempo se les retiró el agua y se agregó una disolución de 2,3,5-cloruro de trifenil tertazolio al 0.5% hasta cubrir las. Las cajas Petri se colocaron dentro de una incubadora a 35°C durante 24 horas. Después de este tiempo se, retiraron y fueron observadas en un microscopio estereoscópico Leica EZ4D, con una navaja de bisturí se realizaron cortes transversales de cada una de las semillas para observar la tinción de los embriones y así cuantificar las semillas teñidas y por lo tanto viables.

### **Viabilidad por el método de germinación directa.**

En esta etapa fueron seleccionadas 100 semillas de cada color, que se colocaron sobre papel filtro dentro de cajas Petri y se les agregó agua destilada para mantener húmedo el papel, se mantuvieron a 28 °C cubiertas con plástico negro para estimular la germinación y se cuantifico diario el número de semillas germinadas. Los datos de viabilidad y germinación se analizaron mediante un análisis de varianza ANVA de un factor con significancia de 0.05

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Caracterización de semillas**

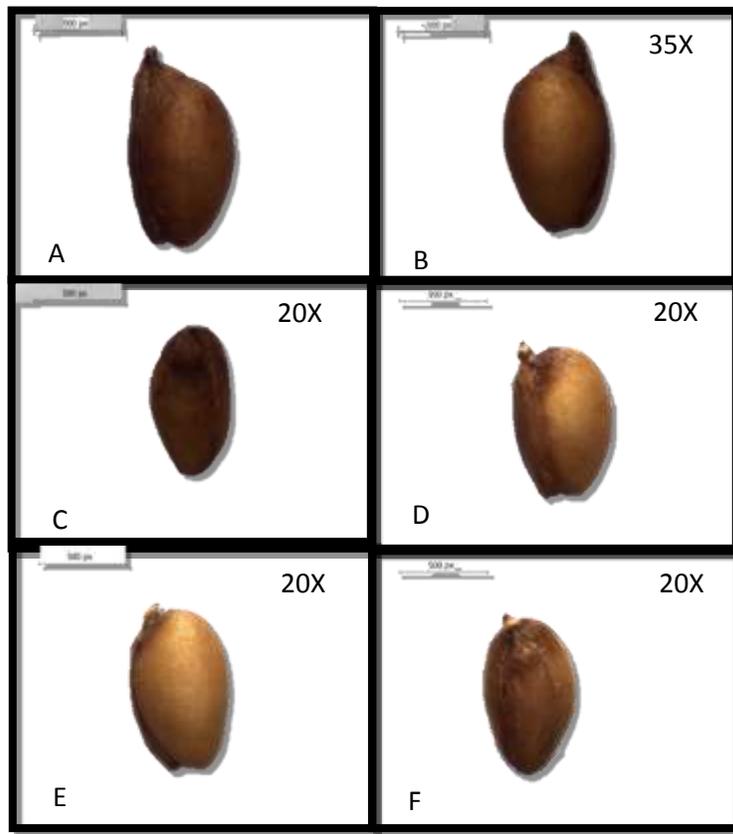
Con base en las observaciones efectuadas se estableció que la unidad de reproducción y dispersión de *Lippia graveolens* conocida como semilla es morfológica y botánicamente una núcula, misma que corresponde a un fruto pequeño, seco, indehiscente incluido en el cáliz persistente y que en la madurez se separa en dos cuerpos, cada uno con el pericarpo duro y seco. Las características morfológicas como tamaño, forma, simetría, color y textura de la superficie se presentan el Cuadro 1.1 y coinciden con lo reportado por Nash y Nee en 1984. El tamaño de la semilla es de 1.2 a 1.5 mm de largo por 0.3 a 0.4 mm de ancho, la forma es estrechamente elipsoide y presenta la base redondeada y el ápice

apiculado, también a lo largo de toda su longitud presenta una costilla; la simetría es bilateral, la superficie esta punctada y presenta un aspecto lustroso, el color puede variar de pardo a verde amarillento. El término botánico más adecuado para referirse a la semillas *L. graveolens* corresponde a núcula, clusa o nuececilla misma que está definida como cada una de las unidades indehiscentes, secas procedentes de la división de un ovario sincárpico súpero y plurilocular (Font-Quer, 1979; Moreno, 1984).

**Cuadro 1.1** Características morfológicas generales de las núculas de *Lippia graveolens*

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Tamaño	1.2-1.5 mm de largo X 0.3-0.4mm de ancho
Forma	Estrechamente elipsoide con la base redondeada y el ápice apiculado, con una costilla que la recorre en toda su longitud.
Simetría	Bilateral a ligeramente asimétrica.
Color	Pardo, pardo verdoso a verde amarillento.
Superficie	Punctata y algo nítida.

Múlgura de Romero (2000) hizo la revisión taxonómica de las especies de *Lippia* para Sudamérica y caracterizó a los frutos de este género como clusas de paredes lisas con la característica de estar cubiertas por el cáliz acrecenté, que le da una textura externa pilosa y áspera estos resultados concuerdan con los resultados encontrados en este trabajo. En la Figura 1.1 se observan las vistas lateral y de frente de las núculas, es evidente la costilla, el ápice apiculado y la base redondeada además los diferentes colores que se presentan asociados al grado de madurez.



**Figura 1.1** Núculas de *L. graveolens*, A, B, D, E: vista lateral de núculas pardas y verde-amarillento. C, F: vista frontal y de la costilla de núculas pardas y verde-amarillento.

### **Viabilidad por método de TTC y por el método de germinación directa.**

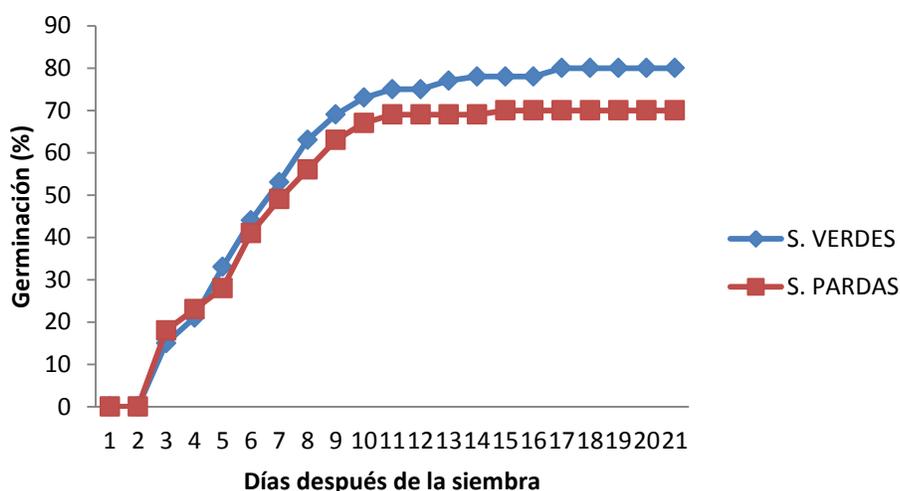
La viabilidad de las núculas de los colores diferentes fue determinada mediante dos métodos, el primero con 2,3,5 cloruro de trifeniltetrazolio (TTC) y el segundo por germinación directa. Los resultados para las núculas de color verde en la prueba de TTC fue de 79 % mientras que para las de color pardo fue del 70% (Cuadro 1.2), por lo que se establece que a pesar de que el color suele indicar el grado de madurez de las núculas, en este caso no es un factor que defina la madurez fisiológica y viabilidad, tal como lo documentó Silva- Vázquez *et al.* (2012) autores, que para orégano mexicano establecieron que la madurez fisiológica y capacidad de germinación se puede presentar a pesar de que la coloración de las núculas sea

verde. Para *L. graveolens* atributos como la pureza, el tamaño, la forma y la sanidad son más importantes para definir la viabilidad y la capacidad de germinación así como y producción de plántulas normales tal y como lo establecieron Thomson (1997) y Moreno (1996).

**Cuadro 1.2** Viabilidad mediante prueba de 2,3,5-cloruro de trifenil tetrazolio

Descripción de semilla	color de semilla	
	verde-amarillento	pardas
Teñidas	79	70
No teñidas	21	30
Porcentaje viable	79	70

En la prueba de germinación directa en las cajas de Petri se obtuvo viabilidad del 80 % para las núculas verde amarillentas y 70% para las núculas pardas (Figura 1.2). No se observó gran variación entre la viabilidad calculada con cloruro de tetrazolio y germinación directa en ambos colores de núculas. Por tanto, se considera que esta característica no interfiere con la viabilidad.



**Figura 1.2** Porcentaje de viabilidad a partir de la prueba de germinación directa. (S-núculas).

En la literatura especializada existen trabajos que documentan la germinación de *L. graveolens*, sin embargo en la gran mayoría de ellos, los datos son heterogéneos en relación a la presencia o no de latencia en las núculas, porcentajes de viabilidad que van desde 24 hasta 100% y porcentajes de germinación en promedio del 60% con o sin la aplicación de tratamientos pregerminativos. Los resultados obtenidos muestran que *L. graveolens* no presentó latencia debido a que los porcentajes de viabilidad y germinación fueron iguales, además la germinación de 70% en promedio, se encuentra entre los valores más altos que se han encontrado para esta especie. Pimienta *et al.* (2007) para diez especies de *Lippia* distribuidas en Brasil encontraron que cuatro de ellas no presentan latencia y que su porcentaje de germinación es mayor cuando son sembradas inmediatamente después de su recolecta y para seis especies se presenta una latencia que es retirada cuando las núculas son almacenadas por 60 días, estos resultados indican que la latencia puede depender de la especie (Escamilla *et al.*, 1991; Maldonado, 1998; Ortega *et al.*, 2007; Saucedo 2009; González-Nieves *et al.*, 2010 y SEMARNAT, 2011).

El tamaño, la procedencia y el tiempo de almacenamiento de las semillas, son algunas características morfológicas que se han relacionado con el porcentaje de viabilidad y capacidad de germinación de las semillas (Bautista *et al.*, 1991; Cervantes *et al.*, 2014; Niembro, 2002; Pimienta *et al.*, 2007). La gran heterogeneidad en los resultados de viabilidad y germinación reportados en la literatura, se pueden relacionar con los factores anteriormente descritos. En este caso el tamaño de la semilla es uno de los más importantes que influyen en la viabilidad y germinación de *L. graveolens* (Olhagaray y Villavicencio, 1991). En las núculas utilizadas en esta investigación el tamaño es menor que las analizadas por Olhagaray y Villavicencio (1991), sin embargo, presentan un mayor porcentaje de germinación. Al respecto Cervantes *et al.* (2014) indicaron que el tamaño se relaciona con la capacidad de germinación y el tiempo en el que este proceso se manifiesta.

En el presente experimento se observaron diferencias en el tamaño de las núculas, esto se relaciona con su origen a partir del gineceo en las flores donde se pueden generar una o dos. Las que se desarrollan de forma única tienen un tamaño mayor que aquellas formadas por dos. Lo anterior puede relacionarse con los niveles de polinización, ya que niveles altos pueden indirectamente reducir el tamaño, porque la energía y los materiales se dividen para formar dos frutos. Ocampo-Velázquez *et al.*, (2009) establecieron una relación entre el tamaño de las núculas y la polinización e indicaron que las dos núculas pequeñas pueden derivarse de autofecundación y que la núcula individual (de mayor tamaño) es producto de la fecundación cruzada donde el polinizador tiene una función importante que es modificar el peso de la núcula, tal y como lo estableció Galen y Thomson, (1985) para una especie de Lily (*Clintonia borealis*). Además, el genotipo del polen puede influir en el peso de la semilla en plantas que producen semillas más pequeñas con autofecundación que en las de polinización cruzada (Schemske y Pautler, 1984).

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con las observaciones realizadas y sus características morfológicas, se estableció que botánicamente el nombre adecuado de la unidad reproductiva de *Lippia graveolens* es núcula y no semilla.
- En las pruebas de viabilidad con 2,3,5 trifeliltetrazolio y de germinación directa muestran que el color de la núcula no influyó en la viabilidad.

## LITERATURA CITADA

- Bautista** P. J., Hernández R. A. y Arias M.C.E. 1991. Características de la germinación de orégano (*Lippia graveolens*) de cuatro diferentes procedencias del altiplano y zona media Potosinas. Primera Reunión Nacional Sobre Orégano. Bermejillo, Durango., México.
- Cano** P. A. y Villavicencio G.E. 2012. Cultivo de orégano, opción productiva para las zonas semidesérticas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico.
- Cervantes** M., Ceccon E y Bonfil C. 2014. Germination of stored seeds of four tree species from the tropical dry forest of morelos, mexico. Botanical Sciences. 92 (2): 281-287
- Enríquez-Peña** E.G., Suzán-Azpiri H y Malda-Barrera G. 2004. Viabilidad y germinación de semillas de *taxodium mucronatum* (ten.) en el estado de Querétaro, México. Agrocencia. 38: 375-381
- Escamilla** S.J., Meléndez G. R. y Mata G.R. 1991. El acondicionamiento osmótico como una alternativa para acelerar la germinación de 59 semillas de orégano (*Lippia berlandieri* Schauer). Primera Reunión Nacional Sobre Orégano. Bermejillo, Durango., México.
- Font Quer** P. 1979. Diccionario de Botánica. Editorial Labor SA. Barcelona, España.
- Galen** C. R.C. P.L. and Thomson J. D. 1985. Floral Biology and regulation of seed set and seed size in the lily, *Clintonia borealis*. Am. J. Bot. 72(10): 1544-1552.
- González-Nieves** C., Arreola A.J. G., García H.G., Rodríguez L.J.S., Carrillo F.R., Esquivel A.O. y Villa C.M. 2010. Efectos de tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de plántulas de orégano (*Lippia graveolens* HBK). Revista Chapingo serie zonas Áridas. 9:129-134
- Huerta** C. 1997. Orégano mexicano: oro vegetal. CONABIO. Biodiversitas 15:8-13
- Maldonado** R. J. A. 1998. El orégano Silvestre en México. Monografía Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila., México.
- Moreno** M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. México, D.F.
- Moreno** N. 1984. Glosario Botánico Ilustrado. Instituto Nacional de Investigaciones sobre recursos bióticos. Compañía Editorial Continental. México
- Múlgura de Romero** M.E. 2000. Las especies de *Lippia* L. sect. Dioicolippia Tronc. (Verbenaceae). Candollea 55: 227-254
- Nash** D.L. y Nee M. 1984. Flora de Veracruz: Verbenaceae. Instituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bióticos. Fascículo 41. 51pp.

**New England wild Flower Society.** *On line.*

<https://gobotany.newenglandwild.org/species/origanum/vulgare/> (Consultado agosto 2014).

**Niembro R.A.** 2002. *Haematoxylum campechianum* L. In: Vozzo, J.A. Ed. Tropical Tree Seed Manual, pp. 497-499, USDA Forest Service, Agriculture Handbook 721, Washington, D.C.

**Ocampo-Velázquez R.V.,** Malda-Barrera G. X y Suárez-Ramos G. 2009. Biología reproductiva del orégano mexicano (*Lippia graveolens* Kunth) en tres condiciones de aprovechamiento. *Agrociencia*. 43: 475-482.

**Olhagaray R.E.C** y Villavicencio R.E. 1991. Métodos de siembra de orégano *Lippia berlandieri* en la Comarca Lagunera, dentro de Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México. Documentos presentados en la Primera Reunión Nacional sobre Orégano. URUZA-UACH. Bermejillo, Dgo., México. 349pp.

**Ortega N. M. M,** McCaughey E. D, Robles B. M.R, Borboa F. J y Corella R. A. 2007. Material Vegetal, Germinación y Aspectos Agronómicos del orégano (*Lippia palmeri* W.) Tercera Reunión Nacional Sobre Orégano. Saltillo, Coahuila, México.

**Pimieta M.R.,** Fernandes L.S., Pereira U. J., Garcia L. S., Leal S.R., Leitão S.G., Salimena F.R.G., Viccini L.F. y Peixoto P.P. 2007. Floração, germinação e estaquia em espécies de *Lippia* L. (Verbenaceae). *Revista Brasil. Bot.* 30: 211-220

**Saucedo V. Z. C.** 2009. Determinación del efecto de cloruro de sodio en la germinación de semillas de orégano mexicano (*Lippia graveolens*). 61 Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

**Schemske D. W.** y Pautler L. P. 1984. The effects of pollen composition on progeny fitness components in a Neotropical herb. *Oecologia* 62: 31-36.

**SEMARNAT.** 2011. Paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia spp.*). Folleto técnico. México.

**Silva-Vázquez R.,** M. Bejar-Hinojosa y M.E. Vázquez-Badillo 2012. Producción de semilla mejorada de orégano *Lippia berlandieri* (Schauer). Sociedad Científica del Orégano. *On line.*  
<http://sociedadcientificadeloreganoac.blogspot.mx/2012/02/investigacion-del-oregano-7.html?view=sidebar> (Consultado enero 2015)

**Sociedad Científica del Orégano.** *On line.*

<http://sociedadcientificadeloreganoac.blogspot.mx/2012/02/investigacion-del-oregano-1.html> (Consultado agosto 2014).

**Thomson C.M.** 1997. Zonificación de semillas en México. In: Vargas H.J.J., Bermejo V.B. y Ledig F.T. Eds. *Manejo de recursos genéticos forestales*, pp. 67-88. Seminario-Taller sobre Manejo de recursos genéticos forestales, Colegio de Postgraduados, Chapingo

## CAPITULO 2

### SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA DE ORÉGANO MEXICANO

#### RESUMEN

Para la producción de plántula de orégano se utilizaron cuatro sustratos: Fibra de coco, peat moss, tezontle y vermicompost, a los cuales se les realizó la evaluación de sus propiedades físicas y químicas. Densidad aparente, densidad real, porosidad de aire, retención de humedad, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de materia orgánica y análisis nutrimental; posteriormente en invernadero se prepararon charolas de germinación de 200 cavidades con los sustratos, y se sembraron las núculas de orégano; 42 días después de la siembra se iniciaron los muestreos semanales destructivos cosechando 10 plántulas por tratamiento durante cuatro semanas, en cada plántula cosechada se midió longitud de la parte aérea, longitud de raíz, diámetro de tallo en la base, volumen de raíz y área foliar, posteriormente el material se llevó a secado para tener el peso seco de raíz, tallo, hoja y peso seco total, se hizo el cálculo de los índices de crecimiento para las plántulas: Tasa de Asimilación Neta, Tasa de Crecimiento Relativo, Razón de Área Foliar, Área Específica Foliar, Razón de Peso Foliar y Tasa Absoluta de Crecimiento. Los resultados obtenidos mostraron que el peat moss, fibra de coco y tezontle favorecieron la germinación, el peat moss fue el sustrato que presentó las características físicas y químicas más homogéneas con respecto a los otros sustratos sin embargo no fueron estadísticamente significativas, por lo que en este mismo fue en donde el desarrollo de las plántulas fue favorecido, mostrando diferencias altamente significativas con respecto a los otros sustratos; en cuanto a los índices de crecimiento en peat moss y tezontle las plántulas mostraron comportamientos adecuados.

## INTODUCCIÓN

Actualmente existe un incremento en la demanda de orégano mexicano en el mercado nacional e internacional, por lo que la explotación de la especie ha ido en aumento, sin embargo existe la problemática de que su producción es poco eficiente debido en gran medida a lo poco conocido de sus cultivo así como a las malas prácticas de manejo aplicadas, además por considerarse aún como recurso forestal no maderable, su domesticación ha sido lenta y paulatina (SEMARNAT, 2011 y García-Valenzuela, 2012). Lo anterior se ha tomado en cuenta para buscar nuevas alternativas y tener mayor control de la eficiencia en los procesos productivos y una mejor regulación del mercado (Flores *et al.*, 2011).

Una alternativa de producción es la que se realiza en invernadero utilizando sustratos. De acuerdo con lo citado por Trejo-Tellez, *et al.*, (2013) un sustrato ideal es aquel que permite una adecuada penetración de las raíces así como la retención de humedad y la cantidad de aire suficientes para una óptima germinación y posterior desarrollo de las plantas. Entre los factores que afectan la germinación de semillas se encuentran la temperatura, la disponibilidad de agua, el oxígeno en la zona de la raíz, la nutrición, y la humedad relativa. Las propiedades físicas y químicas del sustrato, tienen efecto en la disponibilidad de agua, la nutrición y la capacidad de aireación, por lo que la selección de éste es de suma importancia para obtener una óptima germinación y el desarrollo de las plantas (Ayala y Valdez, 2008).

Para conocer las causas que determinan el crecimiento de las plantas así como su rendimiento se han estado empleando estrategias como los índices de crecimiento, de los cuales el concepto central es la tasa de crecimiento relativo (TCR), que se define como el incremento de biomasa total por unidad de biomasa y tiempo (Villar *et al*, 2004). Esto sirve para conocer el potencial productivo que es cuando la planta puede aprovechar al máximo todos los factores ambientales disponibles para promover su desarrollo y rendimiento (Flores-Rivera, 2009).

En México para la producción de almácigos el peat moss o turba, ha sido uno de los sustratos mayormente empleados (Poincelot, 2004), lo cual en el caso del orégano, no ha sido la excepción (Silva-Vázquez *et al.*, 2012). Sin embargo el uso de este sustrato presenta algunas limitaciones principalmente del tipo económico debido a que es un sustrato importado de Canadá principalmente, lo que encarece los costos de producción (Ayala y Valdez, 2008). Por lo anterior, el objetivo planteado en esta investigación es seleccionar un sustrato que favorezca la germinación y el desarrollo de la plántula con base en una adecuada aireación y humedad que requiere el cultivo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sustratos utilizados**

Los sustratos empleados y evaluados en la fase de producción de plántula fueron peat moss, fibra de coco, tezontle ( $\geq 0.5\text{mm}$ ) y vermicompost.

### **Núculas de orégano**

Las núculas que se utilizaron en la producción de almácigos fueron las mismas que se sometieron a las pruebas de viabilidad, proporcionadas por el Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRENA). Se hizo una mezcla de núculas color verde-amarillento y pardo.

### **Propiedades fisicoquímicas de los sustratos en la producción de almácigos**

#### Densidad aparente

De los sustratos antes mencionados se pesaron 25 g que se vaciaron en una probeta de plástico de 50 mL, a la probeta se le dieron ligeros golpes en los costados hasta que el sustrato llegó a un volumen constante. El valor en mililitros y los gramos de peso se utilizaron para la fórmula:

$$Da = \frac{\text{peso del sustrato}}{\text{volumen del sustrato}}$$

## Densidad real

Para determinar esta propiedad se utilizaron matraces aforados de 100 mL, que se pesaron y se les agregó sustrato hasta la mitad para ser pesados nuevamente. Posteriormente se añadió agua destilada hervida y enfriada a temperatura ambiente hasta saturar los sustratos, una vez saturados se dejaron 24 horas en un desecador, posteriormente se llevaron a vacío durante 15 minutos, finalizado el vacío se agregó agua destilada hervida hasta aforar los matraces y se pesaron de nuevo. Finalmente los matraces fueron vaciados, limpiados y se llenaron únicamente con agua destilada hervida para ser pesados nuevamente. Con los datos obtenidos se realizaron los cálculos mediante la fórmula:

$$Dr = \frac{da (Ps - Pm)}{(Ps - Pm) - (Psa - Pa)}$$

Donde:

da = Densidad del agua a 20° C.

Pm= peso del matraz

Ps= peso del matraz + sustrato seco

Psa= peso matraz+ sustrato+ agua destilada

Pa= peso matraz +agua destilada

## Porosidad de aireación

De los sustratos se pesó un kg de cada uno, se colocaron en contenedores de plástico de 3 L, se les agregó agua hasta llegar a saturación y se dejaron en reposo durante 24 horas. Durante este periodo de espera, se seleccionaron cuatro vasos de plástico de 500 mL los cuales tenían orificios en el fondo, estos vasos se pesaron vacíos para conocer su peso inicial y los orificios fueron sellados con cinta para verificar que no existieran fugas de agua. Transcurridas las 24 horas, los vasos fueron llenados hasta el ras con los sustratos ya saturados, una vez llenos los vasos se pesaron nuevamente, finalizado este pesaje se retiró la cinta que sellaba los orificios de los vasos para dejar que drenara toda el agua de los sustratos hasta que los vasos dejaran de gotear. Durante el periodo de drenado se pesaron cuatro

charolas de aluminio, al finalizar el drenado los sustratos en los vasos fueron depositados y extendidos sobre las charolas para ser secados dentro de una estufa a 80 °C por 24 horas. Finalizado el secado, los sustratos se pesaron nuevamente. Los cálculos realizados fueron:

$$Rh = \frac{Psat - Pdren}{Ps} * 100$$

Donde:

Psat= peso de sustrato saturado

Pdren= peso de sustrato drenado

Ps= peso seco del sustrato

Retención de humedad

De cada uno de los sustratos que se dejaron saturar por 24 horas para evaluar la porosidad de aireación se tomaron 200 g y se colocaron dentro de embudos de Haines, posteriormente se conectaron mangueras a cada embudo y se llenaron con agua destilada hasta humedecer su parte basal. Una vez llena la manguera, su otro extremo se niveló a 10 cm de tensión bajo el embudo y se dejó así hasta que el nivel del agua fuera constante. Ocurrido esto, se tomó una muestra de sustrato que fue pesada en vasos de aluminio. Una vez pesados los sustratos se introdujeron a una estufa a 80°C por 24 horas para ser secados, una vez secos se pesaron nuevamente. Este procedimiento se repitió nuevamente nivelando la manguera a 50 y 100 cm de tensión, con los datos obtenidos se calculó mediante la fórmula:

$$Rh = \frac{Psat - Ps}{Ps} * 100$$

Donde.

Psat= peso del sustrato saturado

Ps= peso seco del sustrato

### Potencial de hidrógeno (pH)

Debido a las características de cada sustrato, se pesaron cantidades diferentes añadiéndoles agua hasta saturación. De peat moss y fibra de coco se pesaron 10g y agregaron 120 mL de agua destilada. Para tezontle y vermicompost se pesaron cinco gramos de sustrato y se les añadieron 10mL de agua. Todos se dejaron reposar por dos horas y la lectura de pH se hizo con el sobrenadante de cada sustrato con un equipo CONDUCTRONIC PC18.

### Conductividad Eléctrica (CE)

De cada sustrato se pesaron cantidades distintas y se les agregaron diferentes volúmenes de agua. De peat moss y fibra de coco se pesaron 25 g de cada uno y se saturaron con 175 y 235 mL de agua, para tezontle y vermicompost se pesaron 50g y se les adicionaron 50 y 60 mL de agua respectivamente y se dejaron reposar durante 24 horas. Transcurrido el tiempo se filtraron con una bomba de vacío, un embudo Büchner, papel Whatman de 125 mL y el filtrado se recolectó dentro de un matraz Kitasato de 500 mL. Finalmente el filtrado se utilizó para realizar la lectura utilizando un equipo CONDUCTRONIC PC18.

### Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Para determinar la CIC se pesaron 0.01g de cada sustrato que fueron colocados en recipientes plásticos de 500 mL y se les agregaron 115 mL de acetato de amonio 1N para dejar en reposo por 24 horas. Transcurrido el tiempo se filtraron con papel whatman de 125 mm, una vez filtrados los sustratos se colocaron en tubos de plástico para centrífuga, los restos de sustrato que quedaron adheridos al papel whatman se recuperaron raspando con una espátula y depositándolos dentro de los tubos. Ya con los sustratos en los tubos se realizaron tres lavados utilizando 50mL de etanol y poniéndolos en agitación de vaivén EBERBACH G0009B por 10 minutos y posteriormente centrifugando por otros diez minutos, esto para eliminar los cloruros presentes. Finalizados los lavados se tomaron 5mL de cada uno y se colocaron en tubos de ensayo, se les agregaron cinco gotas de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) y se observó que no presentaran turbidez blanquecina, si se presentaba la turbidez se

realizaban más lavados con etanol hasta que con la prueba de  $\text{AgNO}_3$  no presentaran turbidez. Finalizada la prueba de turbidez se decantó el exceso de etanol para añadir 10 mL de  $\text{NaCl}$  al 10% acidificado para realizar nuevamente tres lavados con agitación y centrifugación por diez minutos, cada muestra lavada se filtró con papel whatman de 125 mm y aforó a 100 mL. Para destilar, se tomaron 25 mL de cada una de las muestras y se añadieron 20 mL de hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) los cuales se vertieron en un matraz balón. El destilado se llevó a 50mL en un matraz Erlenmeyer que contenía 10 mL de ácido bórico al 2% mas seis gotas de indicador. Finalmente se tituló con ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) al 0.1008 N y se realizaron los cálculos utilizando la fórmula.

$$\frac{\text{meq}}{100\text{g}}_{\text{Suelo}} = \frac{(\text{mL } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados} - \text{mL } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ testigo})(N \text{ H}_2\text{SO}_4) (\text{mL filtrados}) (100)}{(\text{mL de alícuota}) (\text{peso de la muestra})}$$

#### Materia Orgánica (MO)

Para determinar esta propiedad se pesaron 0.025 g de peat moss y fibra de coco, 0.05 de vermicompost y 0.25 de tezontle, se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 500 mL y agregaron 5 mL de dicromato de potasio mas 10 mL de ácido sulfúrico, se tuvo la precaución de que no presentaran coloración verde botella y se dejaron en reposo por 30 minutos. Posteriormente se les agregó 100 mL de agua destilada, 5 mL de ácido fosfórico y ocho gotas de difenilamina como indicador, para ser tituladas con sulfato ferroso hasta el vire de color a verde botella, los resultados se calcularon con la fórmula.

$$\% \text{ materia orgánica} = 10 \left( 1 - \frac{\text{mL gastados } \text{FeSO}_4 \text{ muestra}}{\text{mL gastados } \text{FeSO}_4 \text{ testigo}} \right) (FC)$$

Dónde:

FC= factor de conversión el cual depende del peso de la muestra y se deduce de la siguiente manera:

$$(1.0 \quad \text{N}) \times \frac{12}{4000} \times \frac{1.72}{0.77} \times \frac{100}{\text{pm}}$$

1.0 = normalidad del  $K_2Cr_2O_7$   
12/4000 = peso miliequivalente del carbono  
1.72 = factor de transformación de carbón de MO  
0.77 = factor de recuperación de 77 % hallado por Walkey  
pm= peso de muestra

### **Análisis nutrimental**

De la parte aérea de las plántulas se determinaron: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, B, Mn, Zn y Na. El nitrógeno total se determinó por el método de microKjeldahl y el resto de los macro y micronutrientes por medio de digestión ácida y lectura de los iones con un equipo AES-ICP (Inductively Coupled Emission Spectrometer) modelo Liberty 11 secuencial, marca Varian.

### **Producción de plántula de orégano mexicano en invernadero**

#### **Contenedores**

Las charolas utilizadas para los almácigos fueron de polietileno expandido de 200 cavidades. Se lavaron con agua y jabón y desinfectaron con hipoclorito de sodio comercial en concentración de  $1\text{ mL L}^{-1}$  durante 24 horas. Finalizado este tiempo se enjuagaron y llenaron con los sustratos.

#### **Tratamientos**

Los tratamientos consistieron en los cuatro sustratos utilizados: fibra de coco, tezontle, peat moss y vermicompost.

#### **Solución nutritiva**

La solución empleada fue la universal de Steiner, la cual se aplicó dos semanas después de la emergencia de las plántulas, iniciando con solución al 25, 50, 75, y 100 %, el aumento se realizó cada dos semanas. La formulación está compuesta por macro y micronutrientes, en donde por cada litro de solución de macronutrientes se agregó 1 mL de solución de micronutrientes. Las cantidades de sales empleadas en la solución al 100% se muestran en el Cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1** Formulación de la solución Steiner.

<b>Fertilizante</b>	<b>Cantidad gL<sup>-1</sup></b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1.062
KNO <sub>3</sub>	0.303
KSO <sub>4</sub>	0.261
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.492
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.136
Solución de micronutrientos con quelato de hierro	1.0 mL <sup>-1</sup>

### **Siembra y frecuencia de riegos**

En la siembra de los almácigos se utilizaron ambos lotes de núculas (verde-amarillento y pardo) colocando cuatro por cavidad, se humedecieron con agua corriente y se mantuvieron tapados con plástico negro en una bodega a 20°C hasta la germinación, posteriormente se llevaron a un invernadero tipo cenital. Desde el inicio de la germinación y hasta el final del almácigo, se realizaba un riego por día. Para evitar el desarrollo de hongos y de manera preventiva se aplicó fungicida (Ridomil gold®) a la segunda semana después de la germinación, en concentración de un mililitro por litro. 35 días después de la siembra se hizo el raleo de los almácigos para dejar una planta por cavidad en cada charola.

### **Variables de crecimiento en almácigo**

Para evaluar el desarrollo de las plántulas y poder calcular los índices de crecimiento, a partir de los 42 días después de la siembra se realizaron muestreos destructivos por sustrato muestreando diez plántulas cada semana durante un mes, en cada muestreo se evaluó:

- Longitud de la parte aérea, desde la base y hasta la yema apical utilizando un flexómetro.
- Longitud de raíz, extendiendo al máximo sin romper las raíces mediante un flexómetro.

- Diámetro de tallo, en la base con un vernier digital.
- Volumen de raíz, por el método de inmersión utilizando una probeta de 10 mL procurando no romper las raíces para evitar pérdidas.
- Área foliar, colocando las hojas de las plántulas de tal forma que no se obstruyeran unas con otras sobre una hoja de papel blanco a la cual se le dibujó una línea de 1cm como referencia de longitud, una vez acomodadas las hojas se tomaron fotografías digitales a una altura 25 cm asegurándose que la imagen estuviera completa, finalmente para estimar el área foliar las imágenes se procesaron con el software libre “imagenj” versión 1.48. utilizándolo de la siguiente manera:
  - i. Abrir el programa buscar la opción “File – open” y buscar la imagen en el archivo en donde se guardó.
  - ii. Seleccionar la imagen, una vez abierta la imagen seleccionar la función “straight” y trazar una línea con el cursor sobre la línea de 1cm que se dibujó en la hoja de papel en blanco cuando se tomó la fotografía.
  - iii. Una vez trazada la línea seleccionar la función “Analyze – Set Scale”, en el recuadro que aparece poner 1.0 en la opción “Known distance” y “cm” en la opción “Unit of length”, esto con el fin de establecer la escala con la que trabajará el programa.
  - iv. Ya establecida la escala seleccionar “Process- Binary -Make Binary” esto para cambiar el color de la imagen a blanco y negro con el fin de que el programa reconozca la imagen, cuando este proceso se realizó de manera correcta las hojas de la imagen se ven en color negro y el fondo blanco. En caso de que los colores estuvieran invertidos seleccionar “Edit – Invert” para corregir la imagen.
  - v. Una vez que la imagen está en blanco y negro de la manera correcta seleccionar la función “Wand” y con el cursor seleccionar las hojas de tal forma que el margen de estas se vea color amarillo, en caso de que sea más de una hoja en la imagen se seleccionan con la tecla “Shift” y haciendo click sobre cada hoja.
  - vi. Ya seleccionadas las hojas escoger la función “Analyze – Measure”, para finalmente obtener el área foliar. Los resultados se mostrarán en una ventana por separado “Results”, en donde el valor de área foliar es el primer valor mostrado

“Area”. Para guardar los resultados, en la ventana de resultados seleccionar “File – Save as”, nombrar y guardar el archivo de la manera más conveniente. El archivo se guarda en formato Microsoft® excel® de manera automática.

Los pasos anteriores se repiten tantas veces como sea necesario, dependiendo del número de imágenes para calcular el área foliar de una o varias plantas, los resultados siempre se mostrarán en la misma ventana.

- Biomasa seca de tallo, hoja y raíz, guardando cada órgano por separado en bolsas estraza para llevarlas a secar dentro de una estufa de aire forzado por 72 horas a 70°C. Una vez secas se pesaron por separado utilizando una balanza analítica.

Todos los datos de las variables de crecimiento fueron analizados mediante un análisis de varianza ANOVA con significancia de 0.05 con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

### **Índices de crecimiento**

Con los datos obtenidos de la medición del área foliar así como de la biomasa seca de las plántulas, se estimaron parámetros fisiológicos que se utilizan en el análisis de crecimiento y cálculo de los índices de crecimiento para los distintos tratamientos (Hunt, 1990).

*Tasa de Asimilación Neta (TAN)*; es el balance entre la ganancia en biomasa por fotosíntesis y la pérdida por la tasa de respiración, se calcula:

$$TAN = \frac{P2-P1}{T2-T1} * \frac{\log e AF2 - \log e AF1}{AF2-AF1} \text{ se expresa en } g \text{ AF}^{-1} \text{ días}^{-1}.$$

*Tasa de Crecimiento Relativo (TCR)*; es la eficiencia de producción de biomasa en un tiempo determinado, se calcula:

$$TCR = \frac{\log e P2 - \log e P1}{T2-T1} \text{ se expresa en } g * g^{-1} * \text{día}^{-1}.$$

*Razón de área Foliar (RAF)*; con este índice se estima la magnitud del aparato fotosintético de la planta, se calcula:

$$RAF = \frac{\left(\frac{AF1}{P1}\right) + \left(\frac{AF2}{P2}\right)}{2} \text{ se expresa en cm}^2 * \text{g}^{-1}.$$

*Área Específica Foliar (AEF)*; es la cantidad de área foliar por peso de hoja, se calcula:

$$AEF = \frac{\left(\frac{AF1}{PH1}\right) + \left(\frac{AF2}{PH2}\right)}{2} \text{ se expresa en cm}^2 * \text{g}^{-1}.$$

*Razón de Peso Foliar (RPF)*; es la relación entre la biomasa total de las hojas con la biomasa total de la planta, se calcula:

$$RPF = \frac{\left(\frac{PH1}{P1}\right) + \left(\frac{PH2}{P2}\right)}{2} \text{ y es adimensional.}$$

*Tasa absoluta de crecimiento (TAC)*; es una medida de la demanda fisiológica de la planta, se calcula:

$$TAC = \frac{P2 - P1}{T2 - T1} \text{ se expresa en g} * \text{día}^{-1}.$$

En donde:

P1= peso seco total inicial      T1= tiempo inicial      AF1= área foliar total inicial

PH1= peso seco de hojas inicial

P2= pesos seco total final      T2=tiempo final      AF2= área foliar total final

PH2= pesos seco de hoja final

### **Análisis nutrimental de plántula**

El análisis nutrimental de tejido vegetal se realizó a los 69 días después de la siembra utilizando únicamente la parte aérea de las plántulas. Las plántulas cosechadas se pusieron en bolsas estraza para secar durante 72 horas en una estufa de aire forzado a 70°C. Transcurrido este tiempo, se pesó cada tratamiento para poder determinar la extracción de los nutrimentos. Una vez pesadas se molió el material vegetal utilizando un mortero para evitar la pérdida excesiva de material. Los elementos analizados fueron: N por el método de microKjeldahl; P, K, Ca, Mg, S, Mn, B, Mo y Na por medio de digestión ácida y lectura en un equipo AES-ICP (Inductively Coupled Emission Spectrometer) modelo Liberty 11 secuencial, marca Varian.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico de las variables analizadas se realizó utilizando el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

## **RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN**

### **Propiedades físicas de los sustratos**

La caracterización de estas propiedades estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y aire, están determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y tipo de empaquetamiento; deben permitir buena disponibilidad y retención de agua, promover intercambio de gases eficiente y servir como soporte físico para la plántula. Así mismo son las de mayor relevancia debido a que una vez en contenedor y establecida la plántula, el manejo que se le dé y el paso del tiempo es difícil modificarlas de manera favorable. (Abad *et al.*, 2004). En el Cuadro 2.2 se muestran los resultados del análisis de las propiedades físicas de los sustratos utilizados para los almácigos. Densidad real, densidad aparente, retención de humedad y porosidad de aireación se encuentran dentro de las propiedades que se determinan con mayor frecuencia (Cruz- Crespo *et al.*, 2013).

En los sustratos analizados las propiedades evaluadas (físicas) presentaron gran variación, esto se debe a la naturaleza de cada sustrato, autores como Abad *et al.*, (2004) ejemplifican algunos casos como: peat moss por especie de musgo , condiciones de formación y grado de descomposición; fibra de coco dependiendo de la variedad cultivada, maduración del fruto, proceso industrial, edad del residuo entre otras; tezontle dependiendo de los componentes de la roca original, presencia de carbonatos u otros elementos, erosión, fracción granulométrica; vermicompost procedencia, tipo de materiales utilizados y cuidados durante el vermicompostaje, así como la edad del material resultante. Por lo anterior trabajos como los desarrollados por Quesada y Méndez, (2005b) sugieren intervalos que se consideran óptimos para el uso de estos materiales como sustratos.

**Cuadro 2.2** Propiedades físicas: Densidad real (Dr), Densidad aparente (Da), Retención de humedad (Rh) y Porosidad de aireación (Pa) de los sustratos utilizados para producción de almácigos.  $\alpha = 0.05$

Sustrato	Dr	Da	Rh	Pa
	----- g cm <sup>-3</sup> -----		-----%-----	
Peat moss	1.29 b	0.12 c	66.43 a	27.2 a
Fibra de coco	1.32 b	0.10 c	64.57 a	30.19 a
Vermicompost	1.83 b	0.57 b	52.36 b	13.22 b
Tezontle	2.62 a	1.43 a	41.86 c	17.03 b

#### Densidad real (Dr)

Los resultados de esta determinación se presentan en el Cuadro 2.2, cada sustrato presentó valores distintos: peat moss (1.29 g cm<sup>-3</sup>), fibra de coco (1.32 g cm<sup>-3</sup>), tezontle duplicando el valor de peat moss (2.62 g cm<sup>-3</sup>) y vermicompost (1.83 g cm<sup>-3</sup>), las diferencias fueron altamente significativas entre sustratos (Apéndice A-1.1). Esta propiedad es la relación entre la masa de las partículas del medio y el volumen que ocupa sin considerar el espacio poroso (Hidalgo *et al.*,2009), lo que indica que el tezontle presentó un tamaño de partícula pequeño, y junto con el vermicompost al presentar mayor masa dejan menos espacios que pueden ser ocupados por poros

que proporcionen retención de agua para las plantas, lo cual es contrario a lo obtenido en peat moss y fibra de coco que al presentar menor masa dejan más oportunidad a los espacios porosos.

Es normal que cada sustrato presente valores distintos dada la naturaleza de cada uno, sin embargo se proponen intervalos considerados adecuados para los distintos materiales: peat moss de 1.26 a 2.46 g cm<sup>-3</sup>, fibra de coco de 2.01 a 2.45 g cm<sup>-3</sup>, vermicompost de 1.14 a 2.14 g cm<sup>-3</sup> y tezontle de 1.19 a 2.65 g cm<sup>-3</sup>. Tomando en cuenta los intervalos anteriores e investigaciones como las de Valenzuela y Gallardo, (2002) y Rodríguez *et al.*, (2010), peat moss, tezontle y vermicompost presentaron valores de densidad real dentro de los intervalos correspondientes para cada uno, lo que indica que estos sustratos presentaron un tamaño de masa adecuada.

#### Densidad aparente (Da)

En el Cuadro 2.2 se presentan los valores. El tezontle presentó el valor más elevado (1.43 g cm<sup>-3</sup>) seguido de vermicompost (0.57 g cm<sup>-3</sup>), peat moss (0.12 g cm<sup>-3</sup>) y fibra de coco (0.10 g cm<sup>-3</sup>); esta propiedad afecta la manipulación, porosidad así como la cantidad de agua disponible en un sustrato por lo que su medición es importante (Quintero *et al.*, 2011). El tezontle al ser el sustrato con densidad aparente mayor puede presentar problemas de aireación y reducción de volumen, afectar el desarrollo de la raíces y por lo tanto el crecimiento las plántulas, lo que en vermicompost, peat moss y fibra de coco será más beneficiado por tener valores menores y sufrir menor grado de compactación de partícula (Kämpf *et al.*, 2006). Al evaluar estadísticamente los resultados se encontraron diferencias altamente significativas entre ellos (Apéndice A-1.1).

Esta propiedad al igual que la densidad real se ve afectada en gran medida por la naturaleza y origen del material, existen intervalos para cada uno que son considerados aceptables para su uso. En peat moss de 0.08 a 0.27 gcm<sup>-3</sup>, fibra de coco de 0.05 a 0.24 gcm<sup>-3</sup>, tezontle de 1.1 a 1.27 gcm<sup>-3</sup> y vermicompost de 0.59 a

0.74 mg cm<sup>-3</sup> (Pineda-Pineda *et al.*, 2008 y San Martín, 2011). Tomando en cuenta los intervalos los sustratos evaluados presentaron una densidad aparente adecuada.

#### Retención de humedad (Rh)

La retención de humedad de los sustratos se observa en el Cuadro 2.2, peat moss 66.43 %, fibra de coco 64.57 %, vermicompost 52.36 % y tezontle 41.86 % para los cuales el análisis estadístico mostró que las diferencias fueron altamente significativas (Apéndice A-1.1). El peat moss fue el que presentó los valores más elevados, después fibra de coco, vermicompost y tezontle. Los valores de esta variable fueron inversos a lo observado en la  $D_r$  y  $D_a$ , en donde tezontle y vermicompost presentaron valores más altos, corroborando que cuanto mayor es la masa de un sustrato existe menor proporción de poros inter-partícula que son los responsables de la retención de agua (Gutiérrez-Castorena *et al.*, 2011).

Los intervalos óptimos reportados para cada uno son: peat moss de 40.7 a 69 %, fibra de coco de 58.2 a 66%, vermicompost de 13.8 a 61.5% y tezontle de 40.1 a 63% (Bracho *et al.*, 2009). A pesar de las diferencias entre los sustratos, cada uno presentó una retención de humedad adecuada para el buen desarrollo de las plántulas, estos valores tienen que ver con el tamaño de partícula que indica que la pérdida de humedad es menor y por lo tanto se reduce el número de riegos, facilitando además del manejo, el crecimiento de las plantas por la disponibilidad de los nutrientes en la solución de riego (Fierro *et al.*, 2004 y Cruz-Crespo *et al.*, 2010).

#### Porosidad de aire (Pa)

La porosidad de aire en los sustratos fueron: peat moss 27.2 %, fibra de coco 30.19 %, vermicompost 13.22 % y tezontle 17.03 % (Cuadro 2.2). El valor más elevado se presentó en la fibra de coco, después peat moss, tezontle y vermicompost, el análisis de varianza realizado (Apéndice A-1.1) mostró diferencias altamente significativas. La Pa se relaciona con la retención de humedad ya que también se incrementó conforme la densidad de los sustratos fue menor, lo que corrobora que existe mayor

espacio poroso en los materiales de estudio, como también lo señalan Anicua *et al.*, (2009).

Dada la heterogeneidad de cada sustrato se proponen intervalos apropiados para cada uno: peat moss de 24 a 77.4%, fibra de coco 22.2 a 90.5%, vermicompost de 10.2 a 28% y tezontle de 5.1 a 20.5%. Al comparar los resultados obtenidos se observó que todos los sustratos presentaron valores adecuados, lo que es de gran importancia ya que esta característica influye en crecimiento y desarrollo de las plantas, dado que cada especie vegetal requieren distintas necesidades de aireación (Cabrera, 1999 y Durán y Henríquez, 2007).

### **Propiedades químicas de los sustratos**

Los resultados del análisis de las propiedades químicas de los sustratos evaluados se presentan en el Cuadro 2.3. Autores como Abad *et al.* (2004) y Cruz- Crespo *et al.* (2013) indican que estas propiedades son determinadas principalmente en los sustratos orgánicos, y son de importancia debido a que mediante su análisis se caracterizan la transferencia de iones entre el sustrato y la solución del sustrato y por tanto su efecto en el desarrollo de las plantas. Dentro de estas transferencias existen tres tipos de reacciones: 1) químicas, debido a la disolución e hidrólisis de los materiales; 2) fisicoquímicas, por el intercambio de iones y 3) bioquímicas, en la degradación de los materiales orgánicos.

Las propiedades químicas, a diferencia de las físicas tienen la ventaja de poder ser modificadas a lo largo de un ciclo de producción. Su evaluación inicial resulta de importancia debido a que las variables analizadas afectan en mayor grado el establecimiento de un cultivo, por otra parte la asimilación de los nutrientes depende en gran medida de estas propiedades; en particular de pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de materia orgánica (MO) (Quesada y Méndez, 2005b y Cruz- Crespo *et al.*, 2010).

**Cuadro 2.3** Propiedades químicas pH, Conductividad Eléctrica (CE), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y Materia Orgánica (MO) de los sustratos utilizados Para producción de almácigos.  $\alpha=0.05$

<b>Sustrato</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>	<b>CIC</b>	<b>MO</b>
		-----mS cm <sup>-1</sup> -----	-----meq 100g <sup>-1</sup> -----	-----%-----
Peat moss	4.41 c	0.44 b	84.2 a	76.39 a
Fibra de coco	6.49 b	0.40 b	87.73 a	65.56 b
Vermicompost	8.30 a	19.28 a	46.33 b	33.13 c
Tezontle	8.46 a	0.22 b	0.28 c	0.24 d

#### Potencial de hidrógeno (pH)

En el Cuadro 2.3 se presentan los valores de pH para los sustratos analizados, se observa que hubo un intervalo muy amplio, desde ácido (peat moss) hasta alcalino (tezontle). El análisis mostró diferencias altamente significativas (Apéndice A-1.2). Estos resultados muestran como los sustratos orgánicos suelen presentar valores de pH ácidos (peat moss), en el caso de vermicompost no fue así debido a que en el proceso de elaboración, al pasar el material por el tracto digestivo de la lombriz esta secreta carbonato de calcio mediante la glándula de Morren lo cual alcaliniza el material resultante (Acevedo y Pire, 2008 y Rodríguez *et al.*, 2010).

Dado que los materiales presentan características particulares dependiendo de su formación y origen, se proponen intervalos para cada uno: peat moss de 3.7 a 6.5, fibra de coco de 6.3 a 7.1, tezontle de 7.2 a 8.6 y vermicompost de 7.9 a 8.5, por lo que todos los sustratos presentaron pH dentro de los intervalos adecuados. Dado que la disponibilidad tanto de macro como de micronutrientes depende del pH, se recomienda hacer algún tipo de enmienda a los sustratos ya sea para aumentar o disminuir el pH hasta que dicho valor se encuentre entre 5.5 y 6.5 y así favorecer la disponibilidad y, mejorar la absorción y optimizar el crecimiento de las plantas (Cabrera, 2002).

## Conductividad eléctrica (CE)

Los valores de la conductividad eléctrica de los sustratos analizados fueron: peat moss  $0.44 \text{ mS cm}^{-1}$ , fibra de coco  $0.40 \text{ mS cm}^{-1}$ , vermicompost  $19.28 \text{ mS cm}^{-1}$  y tezontle  $0.22 \text{ mS cm}^{-1}$  (Cuadro 2.3). De acuerdo con lo observado el vermicompost fue el sustrato con conductividad más elevada seguido de peat moss, fibra de coco y tezontle lo que nos indica que vermicompost presentó mayor concentración de sales solubles en la solución del sustrato, estos valores presentaron diferencias altamente significativas (Apéndice A-1.2). Autores como Rodríguez *et al.*, (2010) y Romero *et al.*, (2013) mencionan que los valores elevados de salinidad en vermicompost se debe principalmente a los materiales de origen así como de la tecnología empleada y condiciones en su elaboración, mencionan también que el vermicompost elaborado en lugares cubiertos presentan mayor cantidad de sales que aquellos hechos al aire libre, por lo que de acuerdo con lo obtenido el vermicompost utilizado quizás fue realizado en condiciones bajo protección.

Como se ha venido señalando existen intervalos adecuados para cada sustrato, siendo para la CE; Peat moss de  $0.28$  a  $1.20 \text{ mS cm}^{-1}$ , fibra de coco de  $0.25$  a  $0.31 \text{ mS cm}^{-1}$ , vermicompost  $3.98$ - $17.20 \text{ mS cm}^{-1}$  y tezontle  $0.12$  a  $0.29 \text{ mS cm}^{-1}$ . Comparando los resultados obtenidos con los intervalos propuestos peat moss y tezontle fueron los sustratos que tuvieron valores dentro de lo óptimo en tanto que fibra de coco y vermicompost superaron dichos intervalos. Para fibra de coco el que la salinidad haya sido mayor se debe en gran medida al proceso de extracción y separación de las fibras del mesocarpo además de que se presenta descomposición de los materiales que ocasionan salinidad elevada debido a la pérdida de masa que sufren (García *et al.*, 2001 y Ortega *et al.*, 2010). Dado que la CE es una medida de la concentración de sales solubles su control es importante ya que valores superiores a  $3.5 \text{ mS}$  se consideran nocivos para las plantas y que afectan en mayor grado la germinación de semillas, el establecimiento de las raíces y la rizosfera, y el crecimiento de las plántulas (Abad *et al.*, 2004).

## Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En el Cuadro 2.3 se presentan los resultados de la CIC para los sustratos analizados: peat moss 84.2 meq 100g<sup>-1</sup>, fibra de coco 87.73 meq 100g<sup>-1</sup>, vermicompost 46.33 meq 100g<sup>-1</sup> y tezontle 0.28 meq 100g<sup>-1</sup>. Observando los resultados obtenidos la fibra de coco fue el sustrato cuya CIC fue más elevada seguida de peat moss, vermicompost y tezontle; analizando estadísticamente las diferencias presentadas fueron altamente significativas (Apéndice A-1.2). En los resultados también se aprecia que los tres sustratos orgánicos fueron los que presentaron una CIC mayor en comparación con el inorgánico siendo un comportamiento normal dado que el valor de la CIC aumente conforme el contenido orgánico de un sustrato es mayor (Rodríguez *et al.*, 2010).

Dada la heterogeneidad provocada por el origen y naturaleza de los materiales, también se establecen intervalos adecuados: peat moss de 50.9 a 62.8 meq, fibra de coco de 63 a 81.8 meq, vermicompost de 21.9 a 57.0 meq y tezontle de 2.7 a 30 meq. Comparando con dichos intervalos el vermicompost fue el único sustrato que presentó una concentración dentro del intervalo adecuado. Peat moss y fibra de coco estuvieron por encima y tezontle por debajo. Aunque peat moss y fibra de coco presentaron CIC más elevada, esto no afectó el desarrollo óptimo de las plántulas ya que estos sustratos retuvieron mayor concentración de cationes disponibles generando una buena provisión principalmente de K, Ca y Mg, indispensables para el óptimo desarrollo de las plántulas (Zárate, 2007). En tezontle a pesar de tener una CIC baja es normal dado que se considera un sustrato inerte, lo cual también es ventajoso dado que al hacer la aplicación de la solución nutritiva el aprovechamiento de los nutrimentos es más favorable ya que la interacción con el sustrato es muy poca (San Martín, 2011).

## Materia orgánica (MO)

En el Cuadro 2.3 se presentan los valores de la materia orgánica presentes en los sustratos: peat moss 76.39%, fibra de coco 65.56%, vermicompost 33.13% y tezontle 0.24%. Observando que el mayor porcentaje se presentó en peat moss, seguido de fibra de coco, vermicompost y tezontle, este comportamiento es normal dado que los

tres primeros sustratos son de origen orgánico. En el caso del tezontle es un material inorgánico, además de que estos resultados se respaldan con los de CIC que también fue baja y está muy relacionada con la materia orgánica. El análisis de varianza mostró que las diferencias fueron altamente significativas presentadas en el Apéndice A-1.2.

Valenzuela y Gallardo (2002) indican que: peat moss 10-93%, fibra de coco 88.6 a 95.7% y vermicompost 33-85%, en tezontle al ser un sustrato inorgánico el contenido de materia orgánica suele ser nulo. Tomando en cuenta lo anterior peat moss, vermicompost y tezontle presentaron porcentajes adecuados, sin embargo la fibra de coco estuvo por debajo. La determinación del porcentaje de la materia orgánica es de importancia ya que hace referencia a la concentración de compuestos orgánicos presentes en un sustrato, los cuales sufren degradación a lo largo del cultivo al ser solubles en agua, causa pérdida de la materia orgánica afectando el espacio poroso y por tanto el desarrollo adecuado de la raíces (Alvarado y Solano, 2002)

Para que un sustrato sea considerado bioestable debe sufrir poca pérdida de su contenido orgánico, manteniendo de esta forma sus propiedades físicas y químicas constantes por largo tiempo en especial cuando existen plantas en crecimiento en él. Estas pérdidas deben ser lo menos posible ya que las reducciones significativas perjudican el desarrollo normal de las plantas, debido a esto es recomendable que las propiedades iniciales de los sustratos sean elevadas o se encuentren lo más cercano a lo ideal (Rodríguez *et al.*, 2010).

### **Contenido nutricional de sustratos**

En los Cuadros 2.4 y 2.5 se presentan la concentración de macro y micronutrientes de los sustratos utilizados, en él se observa que el vermicompost fue el sustrato que presentó la mayor concentración tanto de macro como de micronutrientes respecto a peat moss, fibra de coco y tezontle. Al realizar el análisis estadístico (Apéndice A-1.3) se presentaron diferencias altamente significativas en el contenido de P, K, Mg,

S, Cu, Mn, Zn Y Na entre los sustratos. En tanto que para N, Ca, Fe y B, no hubo diferencias estadísticas.

**Cuadro 2.4** Concentración de N, P, K, Ca, Mg y S en los sustratos utilizados en la producción de plántulas de orégano.  $\alpha=0.05$

<b>Sustrato</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----					
Peat moss	9.8 a	0.294 b	0.076 b	6.02 b	1.59 c	1.18 b
Fibra de coco	3.8 a	0.222 b	0.622 b	3.38 c	2.32 c	0.621 c
Vermicompost	13.7 a	5.13 a	6.25 a	14.62 a	8.81 a	3.01 a
Tezontle	2.3 a	0.084 b	0.039 b	8.27 b	3.56 b	0.052 d

Con base en el análisis nutrimental realizado a los sustratos y tomando en cuenta las recomendaciones propuestas por Cabrera (2002) y Abad *et al.*, (2004) las concentraciones de: N en peat moss y fibra de coco estuvieron en valores óptimos en vermicompost fueron elevados y en tezontle por debajo. P, K, se presentaron en concentraciones por debajo de los niveles óptimos en todos los sustratos. La concentración de Ca y Mg fue adecuada para todos los sustratos. Para el S en peat moss, fibra de coco y tezontle las concentraciones estuvieron por debajo de lo recomendado y en vermicompost se encontró en niveles adecuados. En lo referente a micronutrientes se observó que: Fe y Cu se presentaron en concentraciones adecuadas para todos los sustratos. El B estuvo en concentraciones adecuadas en peat moss y fibra de coco, para vermicompost y tezontle dichos valores fueron inferiores. Para Mn peat moss, vermicompost y tezontle tuvieron concentraciones adecuadas de este elemento, en fibra de coco la concentración fue baja. Finalmente para Zn y Na con excepción del sodio en vermicompost el cual estuvo por encima de lo recomendado, las concentraciones de estos dos elementos en todos los sustratos estuvieron por debajo de los niveles adecuados (González-Solano *et al.*, 2013).

**Cuadro 2.5** Concentración de Fe, Cu, B, Mn, Zn y Na en los sustratos utilizados en la producción de plántulas de orégano.  $\alpha=0.05$

Sustrato	Fe	Cu	B	Mn	Zn	Na
	-----ppm-----					
Peat moss	704.97 b	2.2 b	130.88 a	26.49 c	0.0 b	155.93 c
Fibra de coco	616.78 b	4.44 b	9.95 a	13.48 c	1.47 b	445.21 c
Vermicompost	7741.7 a	21.41 a	21.92 a	280.48 a	88.11 a	3025.87 a
Tezontle	5845.25a	3.64 b	0.0 a	89.95 b	7.06 b	1243.95b

Los resultados del contenido nutrimental en los sustratos corroboran algunas propiedades químicas de los mismos, como lo son la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónica, en el caso del vermicompost al ser el sustrato que presentó mayor concentración de todos los nutrimentos en especial sodio también fue el que presentó mayor conductividad eléctrica (Romero *et al.*, 2013). Las concentraciones de K, Ca y Mg fueron elevadas en vermicompost en comparación con los otros sustratos, peat moss y fibra de coco presentaron mayor CIC, lo que indica que estos elementos se encontraron más disponibles para las plantas que en vermicompost lo que favorece la mejor provisión nutrimental y por lo tanto un mejor crecimiento, esto se debió al grado de mineralización de los sustratos la cual en peat moss y fibra de coco fue mayor, que en vermicompost (Castillo *et al.*, 2000). En cuanto al tezontle los niveles fueron los más bajos pero en rangos aceptables (Trejo-Téllez *et al.*, 2013), ya que al ser un sustrato inorgánico no presentó gran reserva de nutrimentos, los cuales se tienen que suministrar mediante fertilización por medio de solución nutritiva.

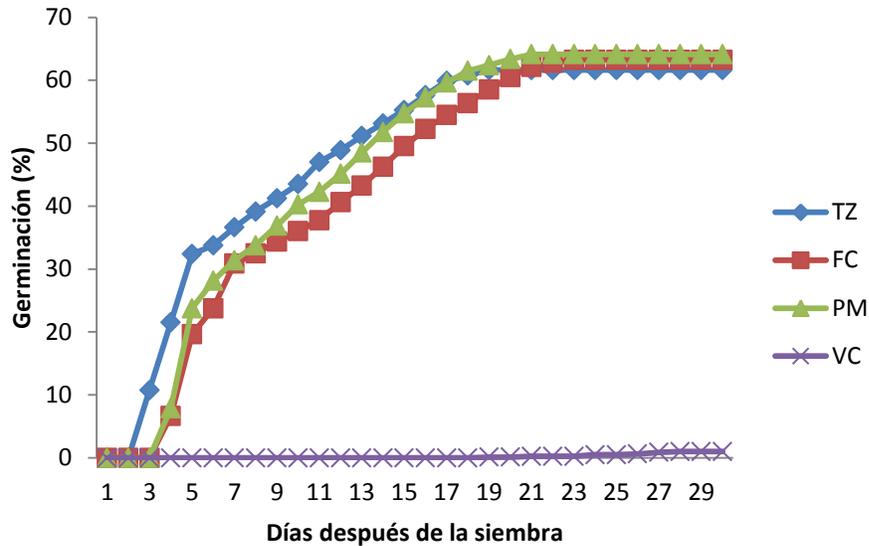
### Pruebas de sustratos en invernadero

#### Siembra en almácigo

Debido a que no se encontraron diferencias en las pruebas de viabilidad con TTC y germinación directa entre las núculas de color verde y pardo, para esta etapa de la investigación se sembraron mezcladas en los cuatro sustratos. La Figura 2.1 presenta el porcentaje de germinación de *Lippia graveolens* acumulada en cada

sustrato; en tezontle, fibra de coco y peat moss la germinación fue similar con 61.3, 63.2 y 64.1%. Un mes después de la siembra había un valor promedio de germinación de 63%. En el caso de tezontle, fibra de coco y peat moss los porcentajes de germinación fueron elevados (> 60%), para vermicompost se observó solo el uno por ciento. Un sustrato es un medio que permiten la oxigenación, la imbibición de agua y condiciones de temperatura adecuadas para la germinación (Salisbury y Ross, 2000). Los usados en este experimento han sido recomendados para la germinación de núculas de orégano mexicano y europeo así como especies de semillas pequeñas (González–Nieves *et al.*, 2010; Villa-Castorena *et al.*, 2011 y Aguilar-Murillo, 2013).

Uno de los principales factores que determina la germinación es la temperatura (Ayala y Valdez, 2008). Para el orégano la más adecuada esta entre 20 y 30°C (Meléndez *et al.*, 1991). Si la temperatura es mayor de este intervalo la germinación disminuye. En esta investigación el promedio de temperatura registrada (20°C) permitió que al tercer día después de la siembra, iniciara la germinación por lo que no fue un factor que afectó el proceso, por tal motivo se establece que los requerimientos para la germinación se proporcionaron de manera adecuada en cada uno de los sustratos. La diferencia encontradas entre la germinación en almácigo y las pruebas de viabilidad por germinación directa se deben a otros factores tanto físicos como químicos, presentes en los sustratos tales como disponibilidad de agua, capacidad de aireación, espacio poroso, pH y conductividad eléctrica (Ayala y Valdez, 2008).



**Figura 2.1** Porcentaje de germinación de orégano en almácigos con diferentes sustratos (TZ- tezontle, FC-fibra de coco. PM-peat moss, VC-vermicompost).

El vermicompost fue el sustrato en dónde la germinación se inhibió por completo, solo se obtuvo el uno por ciento por lo que la diferencia es altamente significativa con respecto al resto de los sustratos. Esto se asocia a la alta conductividad eléctrica que presentó el sustrato (19.96 mS) relacionada principalmente con la elevada concentración de Na, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>. Esto causó un efecto de plasmólisis en las núculas, provocada por la presión osmótica elevada del medio. La elevada conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de sales, en un sustrato orgánico esta aumenta a medida que avanza la descomposición del mismo, debido a la pérdida de masa (Rodríguez *et al.*, 2010 y Martínez *et al.*, 2011).

### **Variables de crecimiento en almácigo**

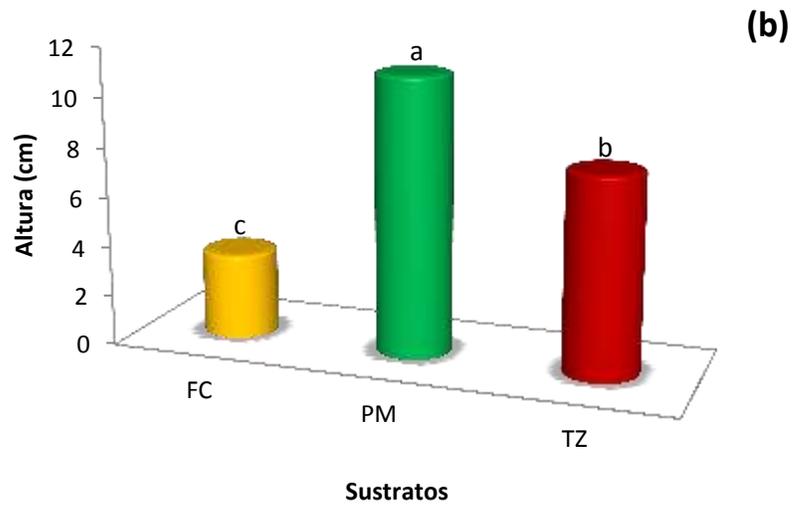
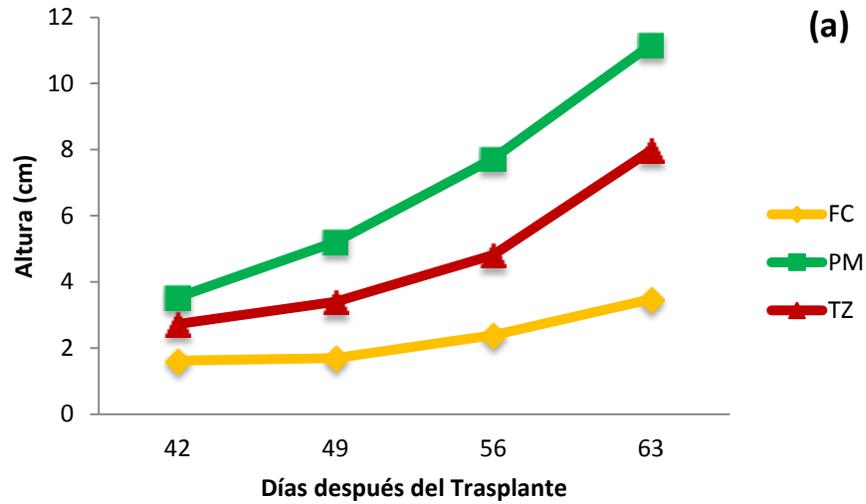
Las variables de crecimiento no fueron evaluadas para plantas en sustrato vermicompost debido a que en este la germinación fue inhibida. Sin embargo de los sustratos en donde si hubo desarrollo del cultivo se presentaron diferencias altamente significativas en todas las variables excepto longitud de la raíz durante las cuatro fechas de muestreo que duró la etapa de almácigo como se puede observar

en el Apéndice A-1.4. A los 63 dds se realizó la cosecha de las plántulas de orégano, se observaron diferencias altamente significativas en el cultivo entre los sustratos (Apéndice A-1.5).

#### Altura de plántula

En la Figura 2.2 se observa la cinética de crecimiento en la interacción días después de la siembra-sustrato, en donde el peat moss favoreció el crecimiento, seguido de tezontle y fibra de coco. El crecimiento fue aumentando gradualmente con el paso del tiempo desde los 42 hasta los 63 dds, esta tendencia se observó en todos los sustratos. Las diferencias en el crecimiento se debieron a que peat moss fue el sustrato que presentó buenas propiedades físicas y químicas para el buen desarrollo de las plántulas así como el buen aporte nutrimental como lo reportan Ortega *et al.* (2010). El análisis de varianza en esta interacción (Apéndice A-1.6) mostró que las diferencias en el desarrollo de las plantas entre sustratos fueron altamente significativas

A los 63 dds, al trasplante se observaron diferencias altamente significativas (Apéndice A-1.5). El crecimiento de vástago (Figura 2.2), fue mayor en peat moss, que promovió mayor altura, seguido de tezontle y fibra de coco, las plantas que crecieron en este sustrato fueron 69% más pequeñas que las crecidas en peat moss. En los almácigos, el crecimiento de las plantas es fundamental para su buen desarrollo, depende en gran parte del aporte nutrimental y agua que el sustrato pueda otorgarles. El agua disponible, intercambio gaseoso, pH, CIC y contenido nutrimental son los factores físicos y químicos que determinan en mayor grado un crecimiento adecuado (Singh y Sainju 1998).



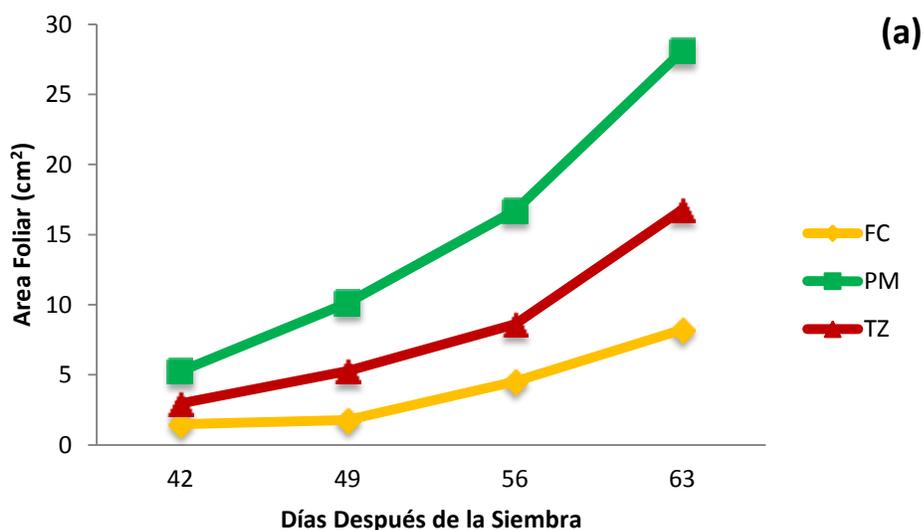
**Figura 2.2.** (a) Cinética de la altura de plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b) Efecto de los sustratos en el desarrollo de vástagos a los 63 dds. FC=fibra de coco, PM=peat moss y, TZ=tezontle,  $\alpha=0.05$ .

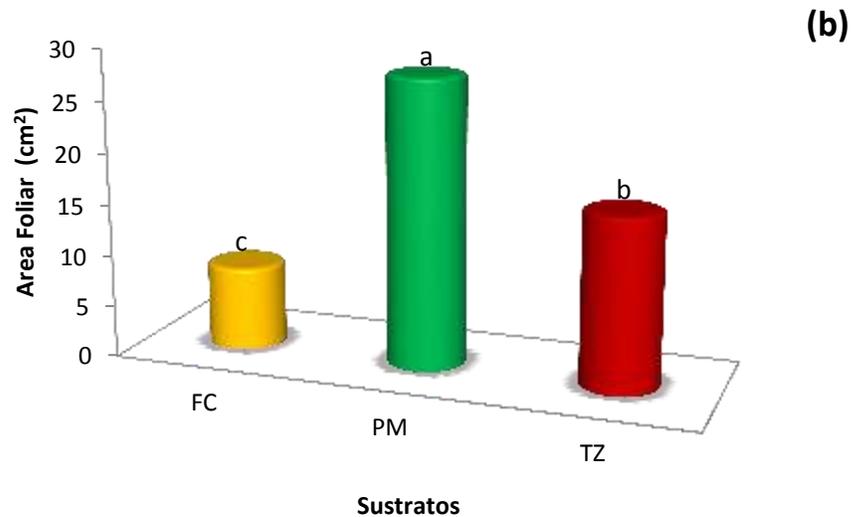
### Área foliar

La Figura 2.3 muestra la cinética del desarrollo del área foliar, en donde se observa como el peat moss fomentó el mayor desarrollo foliar en las plántulas en comparación con el tezontle y la fibra de coco desde los 42 y hasta los 63 dds, siendo a los 56 dds donde la diferencia incrementó notablemente pesar de las

diferencias. En la interacción dds-sustrato se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice A-1.6). En la Figura 2.3 se aprecia el área foliar desarrollada en cada sustrato a los 63 dds, siendo peat moss en donde hubo mayor área foliar, seguido de tezontle y fibra de coco. La diferencia en el desarrollo del área foliar entre peat moss y fibra de coco fue del 70%. Las propiedades fisicoquímicas de los sustratos que más influyen en la formación de área folia son densidad, porosidad, pH y contenido nutrimental, por lo que el peat moss fue el que proporcionó las mejores condiciones para el crecimiento de hojas y grosor de tallo (Quesada y Méndez, 2005a).

El área foliar se relaciona principalmente con la captación de la energía luminosa y el proceso de fotosíntesis, en consecuencia con la altura de las plántulas y el grosor del tallo principalmente (Luna *et al.*, 2010). Sin embargo en esta investigación esta última variable a pesar de que fue evaluada no presentó diferencias estadísticas significativas (Apéndice A-1.5), por lo que el área foliar es un indicador importante durante el crecimiento ya que a mayor superficie foliar que se forme en estadios tempranos del desarrollo existe una mejor aprovechamiento de la radiación incidente (Galindo y Clavijo, 2007).

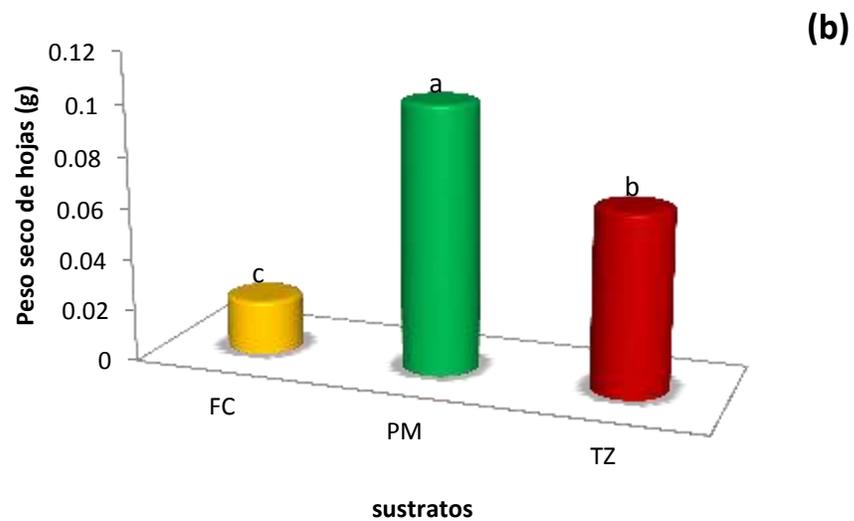
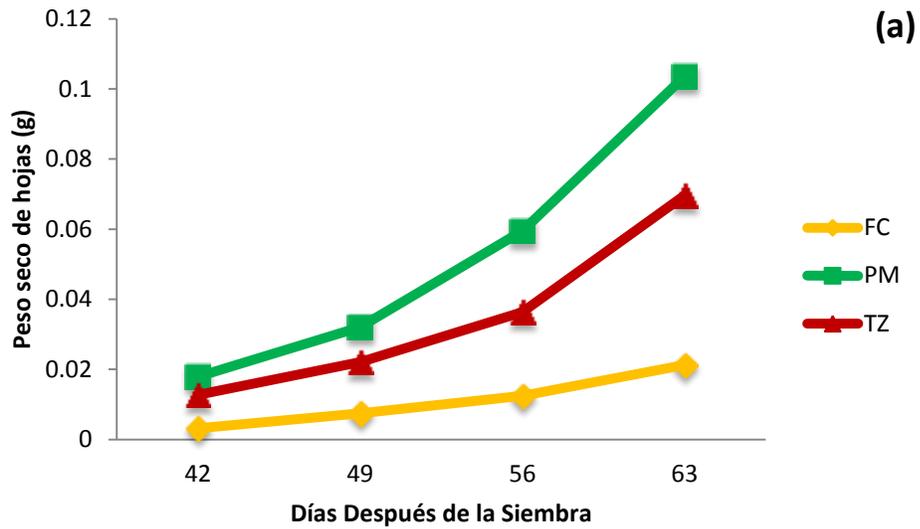




**Figura 2.3** (a) Cinética del desarrollo del área foliar en plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b) Efecto de los sustratos en el desarrollo del área foliar a los 63 dds. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle,  $\alpha=0.05$ .

#### Peso seco de hojas

La Figura 2.4 muestra la biomasa de las hojas de orégano desarrolladas en los sustratos. A partir de los 49 dds tuvieron mayor crecimiento, siendo peat moss el sustrato en donde se acumuló mayor cantidad de biomasa con respecto a tezontle y fibra de coco. La interacción sustrato-dds mostró diferencias estadísticas altamente significativas (Apéndice A-1.6). En la Figura 2.4 también se presentan los resultados de la acumulación final de la biomasa en hojas hasta los 63 dds, en donde nuevamente el sustrato que fomentó mayor acumulación de biomasa en las hojas fue el peat moss cuya diferencia con respecto a fibra de coco fue de 79%. Estos resultados son comparables con los de Ortega *et al.* (2010), quienes encontraron que el peat moss es un sustrato que fomenta el desarrollo del área foliar debido a sus buenas propiedades físicas y químicas. Sin embargo estos resultados difieren con que reportan de Valles *et al.*, (2009) comparan estos mismos sustratos y encontraron mejores resultados en fibra de coco, debido también a sus buenas características fisicoquímicas.

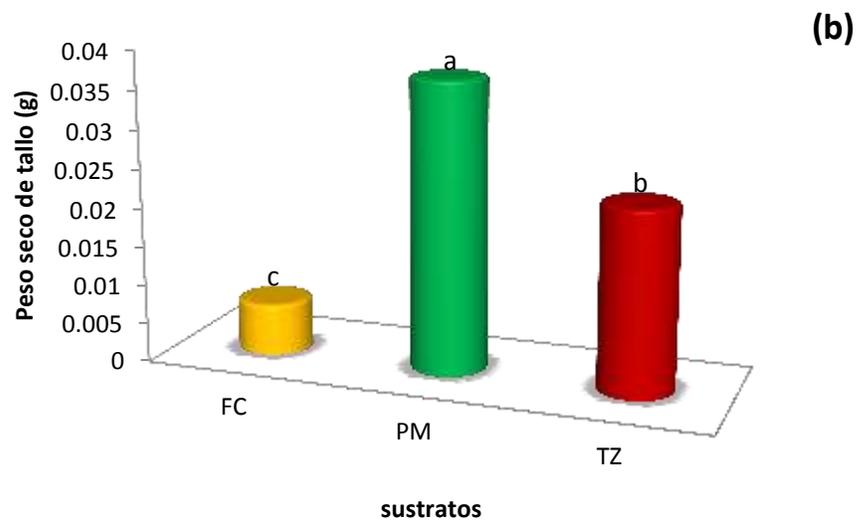
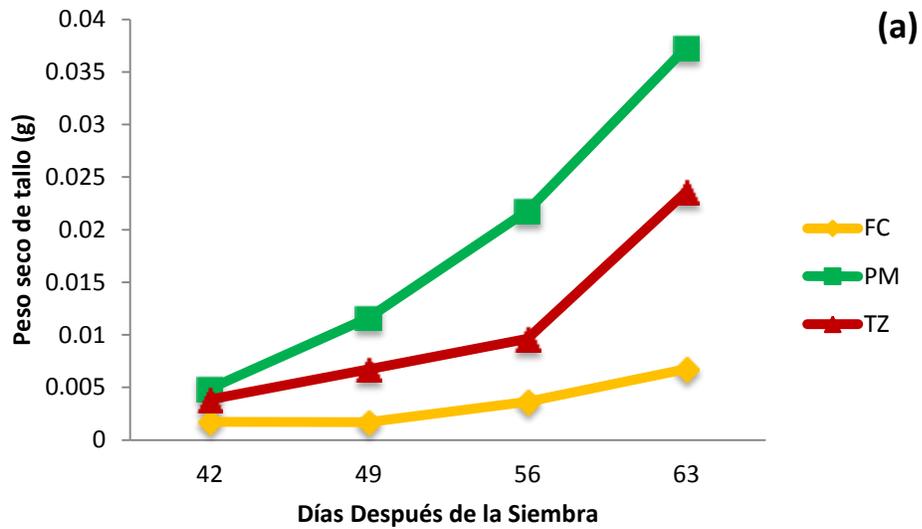


**Figura 2.4** (a) Cinética de la acumulación de biomasa en hojas de plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b) Efecto de los sustratos en la acumulación de biomasa en hojas a los 63 dds. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle,  $\alpha=0.05$ .

## Peso seco de tallos

El aumento de biomasa en tallo en función del tiempo se presenta en la Figura 2.5, en donde se aprecia que los tallos de las plántulas que se desarrollaron en peat moss fueron los que acumularon mayor biomasa respecto al tezontle y a la fibra de coco. Es importante hacer notar que el aumento más notorio fue a partir de los 56 dds. En la interacción sustrato- dds se encontraron diferencias altamente significativas (Apéndice A-1.6), el que el desarrollo de los tallos fuera más marcado hasta los 56 dds se debió a la temperatura (41.4°C promedio) que se presentó en esta etapa. En la Figura 2.5 también se presenta mayor acumulación de biomasa en tallos con peat moss y por lo tanto favoreció el vigor de las plántulas, seguido de tezontle y fibra de coco. La diferencia en esta variable entre las plantas crecidas a los 63 dds en peat moss y fibra de coco fue del 82%.

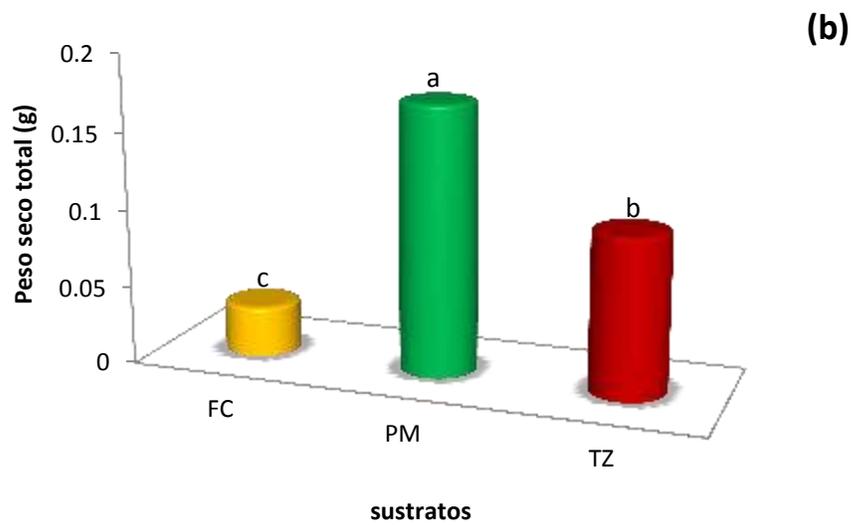
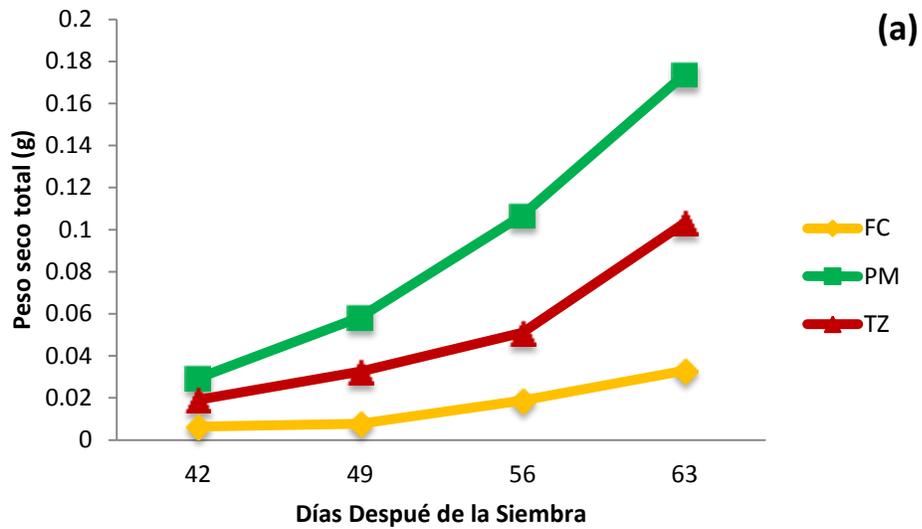
Estos resultados pueden crear confusión ya que cuando se habla de biomasa seca de tallo existen dos factores que influyen en mayor medida: el grosor y la altura. Respecto al grosor a pesar de que es un parámetro que nos indica vigor de las plantas (Galindo y Clavijo, 2007), las diferencias entre sustratos no fueron estadísticamente significativas (Apéndice A-1.5), sin embargo en la altura si lo fueron. Esto indica que las diferencias en biomasa seca de tallo se dieron por la altura de las plantas y no por su grosor debido a la densidad de plantas que había por almácigo ya que al haber mayor competencia por luz las plantas presentaron mayor altura que grosor como lo mencionan Valles *et al.*, (2009), por lo que a pesar del menor vigor esto no afectó la generación de biomasa en los tallos.



**Figura 2.5** (a) Cinética de la acumulación de biomasa en tallos de plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds. (b) Efecto de los sustratos en la acumulación de biomasa en tallos a los 63 dds. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle,  $\alpha=0.05$ .

## Peso Seco Total

La acumulación de biomasa en las plantas se presenta la Figura 2.6 peat moss fue el sustrato en donde se incrementó la biomasa más que en tezontle y fibra de coco. Durante el desarrollo del cultivo fue aumentando en todos los sustratos siendo a partir de los 56 dds cuando las diferencias entre las plántulas fueron más notorias (Apéndice A-1.6), en la interacción sustrato-dds se encontró significancia. La Figura 2.6 indica como a los 63 dds hay una diferencia notoria entre el desarrollo de las plántulas, nuevamente el peat moss fomentó la mayor acumulación de materia con respecto al tezontle y la fibra de coco, el análisis de varianza indicó que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Apéndice A-1.5). La diferencia entre la biomasa seca generada en peat moss y fibra de coco fue de 81%. El comportamiento de esta variable del crecimiento y vigor de las plántulas al igual que todas las evaluadas durante esta investigación presentaron la misma tendencia siendo el peat moss el sustrato en donde las plántulas tuvieron un mejor desarrollo de crecimiento. Moreno *et al.*, (2010) mencionaron la importancia de los sustratos con buenas características físicas y químicas en el crecimiento de las plántulas, ya que proporcionan adecuada oxigenación al sistema radical, así como agua y nutrimentos que se incorporaron adecuadamente al tejido vegetal y generan mayor crecimiento y desarrollo foliar capaz de interceptar mayor energía lumínica, generar más fotoasimilados y por lo tanto mayor biomasa que se traduce en un mayor crecimiento y desarrollo de las plántulas (Luna *et al.*, 2010 y Valenzuela *et al.*,2014).



**Figura 2.6** (a) Cinética de la acumulación de biomasa seca total en plántulas de orégano en almácigo de los 42 a los 63 dds, (b) Efecto de los sustratos en la acumulación de biomasa seca total a los 63 dds. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle,  $\alpha=0.05$ .

## **Índices de crecimiento**

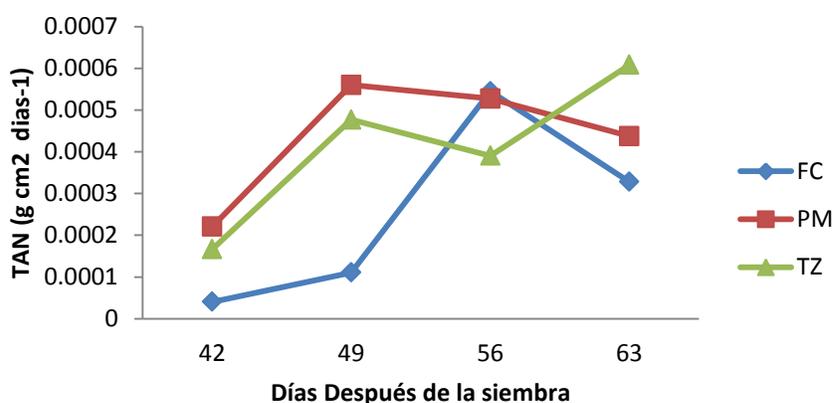
Estos índices son modelos que se han desarrollado con el fin de conocer y determinar las causas del crecimiento y rendimiento de las plantas, ya que cada especie vegetal presenta diferencias en su crecimiento aun cuando estas se encuentran en condiciones similares de crecimiento (Villar *et al.*, 2004).

### **Tasa de asimilación neta (TAN)**

La Figura 2.7 muestra la tasa de asimilación neta de las plántulas de orégano en los distintos sustratos, en donde se observa que el efecto de peat moss y tezontle fue similar desde los 42 y hasta los 56 dds siendo los valores de peat moss más elevados. En el periodo de los 56 a los 63 dds, siendo en tezontle donde la TAN fue mayor. En fibra de coco la TAN fue más heterogénea, a pesar de que fue aumentando de los 42 a los 49 dds los valores estuvieron por debajo de peat moss y tezontle, siendo de los 49 a los 56 dds cuando presentó su mayor incremento igualando a peat moss, a pesar de esto, de los 56 a los 63 dds fue el sustrato en donde se obtuvo la TAN baja. A pesar de que en peat moss el crecimiento de la plántulas fue mayor su TAN fue menor, debido a que a mayor tamaños de los órganos de la planta mayor tasa de respiración que compite con la tasa de fotosíntesis, esto ocurrió en menor grado en tezontle y fibra de coco, es importante mencionar que este índice tiende a decrecer al avanzar la ontogenia del cultivo ocasionada por el aumento en el follaje y el autosombreado que ejercen la hojas superiores a las inferiores disminuyendo la capacidad fotosintética (Rojas, 2010 y Hernández, 2011).

En los muestreos realizados durante el desarrollo de la plántulas, el peat moss fue el que propició un mejor crecimiento en todas las variables analizadas en comparación con tezontle y fibra de coco, a pesar de esto la TAN fue mayor en tezontle y los valores en peat moss y fibra de coco fueron menores y más cercanos. Villar *et al.*, (2004) explican que debido a que la TAN se explica como el balance neto entre la ganancia en biomasa por la tasa de fotosíntesis y la pérdida por la tasa de respiración de hojas, tallos y raíces, por unidad de tiempo; esta a su vez depende de

la disposición y edad de las hojas así como de los procesos de regulación interna, relacionados con la demanda de fotosintatos, siendo una medida indirecta de la fotosíntesis (Hernández, 2010). Es por ello que al haber mayor desarrollo de los órganos en peat moss hubo más tasa de respiración y por lo mismo la TAN en este sustrato fue menor que en tezontle, en el caso de la fibra de coco el desarrollo de los órganos fue menor por lo que hubo menos fotosíntesis y al existir respiración la ganancia en los valores de TAN fueron menores.

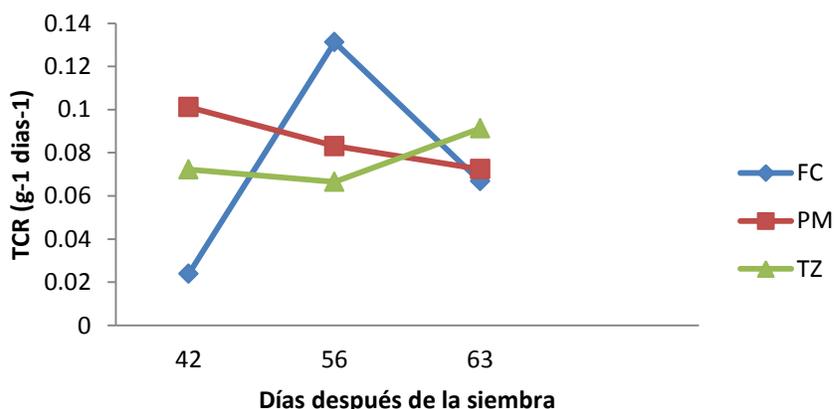


**Figura 2.7** Tasa de Asimilación Neta en plántulas de orégano en un periodo de 42 a 63 dds en distintos sustratos. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle.

### Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La Figura 2.8 muestra la TCR de las plántulas desarrolladas en los distintos sustratos. Se observa que el tipo de sustrato propició diferencias en el comportamiento de esa tasa, en fibra de coco se presentó mayor variación al presentar el valor inicial más bajo y luego un incremento acelerado de los 42 a los 56 dds y posteriormente un decremento pronunciado de los 56 a los 63 dds. En peat moss se presentaron los valores iniciales de TCR más elevados con tendencia a disminuir gradualmente durante todo el periodo de evaluación (42-63 dds), siendo el valor final cercano al presentado en fibra de coco. Finalmente la TCR en tezontle al

inicio los valores fueron medios en comparación con fibra de coco y peat moss, de los 42 a los 56 dds se presató una ligera disminución y finalmente de los 56 a los 63 aumentaron de manera notable. Al final tezontle fue el sustrato que presentó los valores más elevados de TCR en comparación con peat moss y fibra de coco.



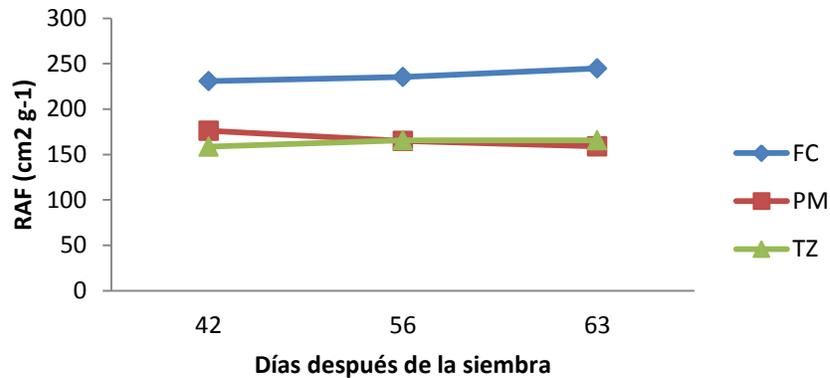
**Figura 2.8** Tasa de Crecimiento Relativo en plántulas de orégano en un periodo de 42 a 63 dds en distintos sustratos. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle.

La TCR muestra la eficiencia de las plántulas para producir biomasa nueva en un tiempo determinado, siendo un balance entre el potencial fotosintético y el costo por la respiración (Hernández, 2011). Por lo que en el inicio de un cultivo los valores de este índice son mayores y posteriormente van decreciendo ya que en las primeras fases casi todo el tejido puede fotosintetizar y producir fotoasimilados que se invierten en crecimiento, además de que la división celular en meristemos es más elevada lo que ayuda al crecimiento. Conforme la ontogenia del cultivo avanza los órganos fotosintéticos van siendo limitados a las hojas además de que la demanda en la formación de otro órganos es mayor, por lo que los valores del índice van reduciéndose (Azofeifa y Moreira, 2004). Lo anterior explica porque la TCR bajó en peat moss durante los muestreos a pesar de que fue el sustrato en donde el desarrollo de las plántulas fue mejor, ocasionando que debido a las pérdidas por el crecimiento de todos los órganos disminuyera la TCR. En fibra de coco los valores fueron bajos debido a que el desarrollo foliar no fue suficiente para incrementar la

TCR, y en tezontle fue donde existió un mejor equilibrio entre la formación de biomasa aérea y las pérdidas por respiración de otros órganos (Sedano *et al.*, 2005).

### Razón de área foliar (RAF)

La Figura 2.9 muestra que las plántulas cuya RAF presentaron valores más elevados fueron las desarrolladas en fibra de coco. En tezontle y peat moss los valores fueron similares pero menores a los de fibra de coco en el mismo periodo de tiempo. En cuanto a la cinética de las plántulas en fibra de coco y tezontle fue aumentando gradualmente, contrario a observado en peat moss en donde los valores descendieron con el tiempo. Aunque la RAF en tezontle incrementó, lo hizo de manera poco relevante ya que los valores fueron casi iguales a los que se presentaron en peat moss a los 63 dds siendo que en este ultimo la tendencia fue ir disminuyendo. La razón de área foliar es la relación entre el área foliar y el peso seco total, y es utilizada para estimar la magnitud del aparato fotosintético de la planta (Palomo *et al.*, 2003).



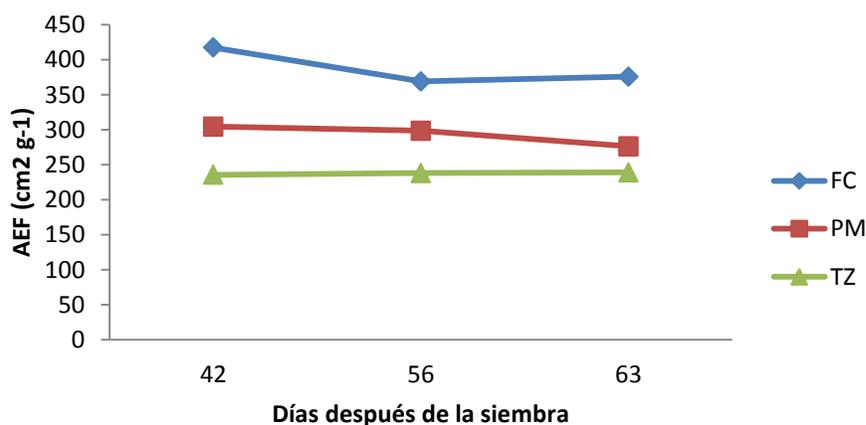
**Figura 2.9** Razón de Área Foliar en plántulas de orégano en un periodo de 42 a 63 dds en distintos sustratos. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle.

Aunque en el análisis de crecimiento, las plántulas desarrolladas en fibra de coco presentaron los valores más bajos de área foliar y biomasa respecto a peat moss y tezontle, en este índice se aprecia lo contrario, debido a que el inicio de los muestreo se realizó a los 42 dds cuando las plántulas podían ser manipuladas de

mejor manera, por lo el desarrollo de las plántulas en fibra de coco fue más retardado que en peat moss y fibra de coco sustratos en donde la RAF es normal ya que el decremento en los valores se debe a que en las primeras fases los fotosintatos generados son destinados en su mayoría al desarrollo de hojas con mayor tamaño, para poder seguir generando fotoasimilados que ayudarán en el crecimiento de los demás órganos y de la planta en general a costa de la reducción del grosor de las propias hojas (Camargo *et al.*, 2015).

### Área específica foliar (AEF)

En el comportamiento del AEF de las plántulas fue diferente entre tratamientos (Figura 2.10). En fibra de coco los valores iniciales (42 dds) superaron a los de peat moss y tezontle, en el periodo de los 42 a 56 dds en fibra de coco y peat moss se presentó una disminución siendo para el primero más notable, en este mismo periodo el AEF de las plántulas en tezontle aumento ligeramente. En el último muestreo (56 a los 63 dds) el AEF en fibra de coco y tezontle presentó un ligero aumento y en peat moss una disminución, sin embargo la tendencia de los valores en todos los sustratos se mantuvo durante el periodo de evaluación siendo los mayores obtenidos en fibra de coco, en peat moss intermedios y en tezontle los menores, en este último el comportamiento general del AEF no presentó grandes variaciones.

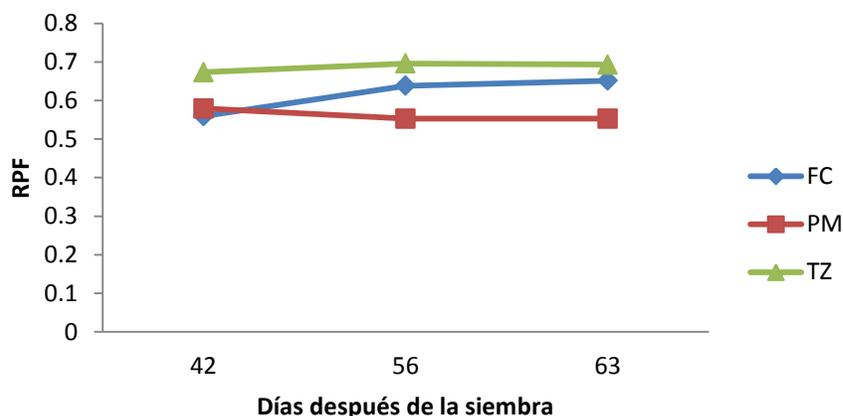


**Figura 2.10** Área Específica Foliar en plántulas de orégano en un periodo de 42 a 63 dds en distintos sustratos. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle.

El AEF es la cantidad de área foliar por peso de la hoja, al ser un componente de la RAF, afecta el crecimiento de la planta (Palomo *et al.*, 2003). Tomando en cuenta las variables de crecimiento evaluadas las plántulas se desarrollaron mejor en peat moss, seguido de tezontle y fibra de coco, a pesar de esto el AEF, mostró lo contrario, debido a que el aumento en el AEF está relacionado con hojas frágiles y delgadas al existir menor inversión en la formación de hojas, además de que los valores disminuyen a medida que aumenta la biomasa en hojas, grado de lignificación y la madurez de la planta (Pérez *et al.*, 2004 y Jarma *et al.*, 2006). Esto concuerda con la tendencia en peat moss y tezontle, ya que en estos sustratos se generó mayor biomasa en hojas, diámetro en tallos y por lo tanto un mejor desarrollo de la plántula provocando una disminución de AEF. En cambio en fibra de coco al ser el sustrato en donde el tamaño de la plántula, grosor de tallo y biomasa de hojas fueron menores los valores de AEF fueron superiores, lo que nos indica que en cuanto mayor es el desarrollo de la plántula su AEF tiende a ser menor sin que esto afecte su desarrollo.

### **Razón de peso foliar (RPF)**

En tezontle y fibra de coco de los 42 a 56 dds favorecieron el aumento de la RPF, posteriormente de los 56 a los 63 dds los valores en tezontle se mantuvieron en tanto que en fibra de coco aumentaron ligeramente. Por otra parte en peat moss fue contrario, ya que de los 42 a 56 dds la RPF disminuyó, y de los 56 a 63 dds los valores fueron constantes (Figura 2.11). El sustrato en donde de las plántulas presentaron mayor RPF fue el tezontle, seguido de fibra de coco con valores muy cercanos y por último peat moss, en la tendencia tezontle desde el inicio y hasta el final fomentó valores superiores a los de fibra de coco y peat moss, en fibra de coco al inicio las plántulas mostraron menos RPF y aumentaron hasta valores intermedios y en peat moss de ser ligeramente superiores a los obtenidos en fibra de coco al inicio finalmente fueron los más bajos.

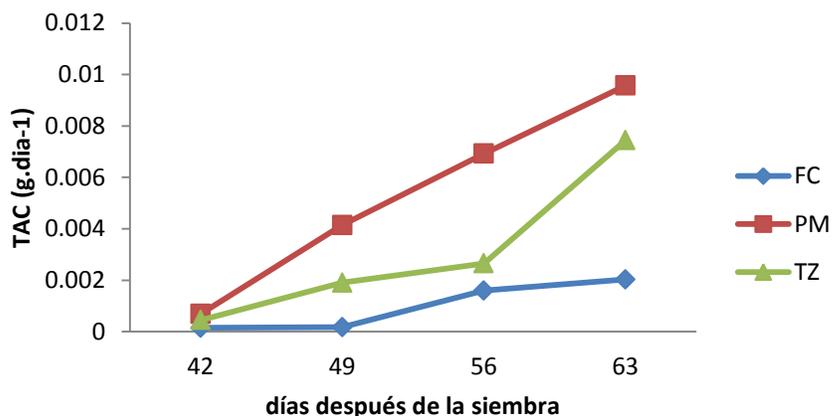


**Figura 2.11** Razón de Peso Foliar en plántulas de orégano en un periodo de 42 a 63 dds en distintos sustratos. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle.

La RPF expresa la relación que existe entre el total de la biomasa perteneciente a las hojas con respecto a la biomasa total de la planta, siendo una medida de la inversión a los órganos fotosintéticos (Villar *et al.*, 2004). La tendencia en cada sustrato a pesar de ser distinta resultó apropiada debido a que concuerda con el comportamiento del desarrollo de las plántulas observado en cada uno. Esto debido a que el primer muestreo fue a los 42 dds, y en peat moss, al ser el sustrato donde las plántulas se desarrollaron de mejor manera, los valores iniciales en el grosor de las hojas suelen ser menores debido al crecimiento mismo de las plántulas donde los fotoasimilados se dirigen a otros órganos, situación similar a lo ocurrido con el área específica foliar ya que ambos índices muestran la magnitud y desarrollo de los órganos fotosintéticos. Esto también explica que en fibra de coco la RPF fue superior sin embargo este comportamiento no es el idóneo porque muestra que el desarrollo de las plántulas en este sustrato fue menor y deficiente al ir aumentando la RPF con el tiempo. Al observar el comportamiento de la RPF de las plántulas en tezontle se aprecia que fue el sustrato en donde el desarrollo presentó valores intermedios al no presentar variación drástica como se observó en peat moss y fibra de coco, sin embargo al no ir descendiendo indica hubo detención del crecimiento (Orozco *et al.*, 2011 y Escalante *et al.*, 2013).

### Tasa absoluta de crecimiento (TAC)

La TAC que presentaron las plántulas se muestra en la Figura 2.12, la cinética de esta tasa en todos los sustratos fue ascendente desde el inicio. En peat moss se produjeron los valores más elevados y cuyo incremento fue de manera casi lineal y homogénea desde los 42 y hasta los 63 dds. En tezontle el incremento fue más gradual de los 42 a los 56 dds, posteriormente este incremento se aceleró (56-63 dds). La TAC de las plántulas en fibra de coco incremento a partir de los 49 dds siendo gradual hasta los 63 dds. A pesar de que al inicio en los tres sustratos los valores fueron similares a lo largo del tiempo presentaron gran variación siendo los obtenidos en peat moss los mayores, tezontle intermedios y fibra de coco los menores, lo que muestra que en efecto en peat moss el desarrollo de las plántulas fue más favorable en comparación con tezontle y fibra de coco.



**Figura 2.12** Tasa Absoluta de Crecimiento en plántulas de orégano en un periodo de 42 a 63 dds en distintos sustratos. FC= fibra de coco, PM= peat moss y TZ= tezontle.

La TAC es considerada como una medida de fuerza de la demanda fisiológica. Al respecto Ayala *et al.*, (2011) Mencionaron que esta tasa de crecimiento en un principio es lenta y va aumentando con el tiempo, comportamiento que se presentó en todos los sustratos, el bajo crecimiento inicial se ve relacionado con las

condiciones ambientales como la temperatura que es señalado por el mismo autor, la cual en esta investigación presentó valores elevados (41.3°C) en promedio. El peat moss al tener mejor retención de humedad, ayudó al amortiguamiento de la temperatura y evitar la evapotranspiración excesiva como lo mencionan Quintero *et al.*, (2011), por lo el crecimiento en este sustrato fue más homogéneo en comparación con tezontle y fibra de coco. En el periodo de los 56 a los 63 dds fue cuando en el invernadero hubo temperaturas menores (37.8°C promedio) factor que ayudó al incremento de la TAC en tezontle y fibra de coco.

## **CONCLUSIONES**

- Con base en los resultados de aireación y retención de humedad el peat moss es el sustrato que favorece el desarrollo de las plántulas de orégano mexicano.
- Peat moss, tezontle y fibra de coco fueron los sustratos donde se presentó una germinación homogénea.
- Peat moss fue el sustrato que favoreció el desarrollo de las plántulas hasta el tiempo de trasplante.

## LITERATURA CITADA

- Abad**, M. Noguera, P. y Carrión, C. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. P. 113-158. En: M. Urrestarazu (ed.). Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Acevedo** I.C. y Pire R. 2008. Caracterización de sustratos hortícolas enmendados con lombricompost. Rev. Unell. Cienc. Tec. 25: 1-9.
- 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.
- Alvarado**, V. M.A. y Solano S.J.A. 2002. Producción de sustratos para vivero. Manual técnico. Proyecto VIFINEX. Costa Rica. 47pp.
- Anicua**, S. R. Gutiérrez C. M.C., Sánchez G.P, Ortiz S.C., Volke H.V. H., Rubiños P. J. E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. Agricultura Técnica en México 35(2): 147-156.
- Ayala** S. A. y Valdez A. L. A. 2008. El polvo de coco como sustrato alternativo para la obtención de plantas ornamentales para trasplante. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 161-167
- Ayala** G. O. J., Carrillo S. J. A., Hernández G.E., Díaz M.E., Livera M. M. y Almaguer V. G. 2011. Crecimiento de plántulas de estática (*Limonium sinuatum*) y viola (*Viola cornuta*) en ambientes contrastantes. Chapingo Serie Horticulturae 17 (2).
- Azofeifa** A y Moreira M. A. 2004. Análisis de crecimiento del chile jalapeño (*Capsicum annum* L. cv. hot), en Alajuela, Costa Rica. Agronomía Costarricense 28(1): 57-67.
- Bracho** J., Pierre F. y Quiroz A. 2009. Caracterización de componentes de sustratos locales para la producción de plántulas de hortalizas en el estado Lara, Venezuela. Bioagro. 21 (2): 117-124.
- Cabrera** R.I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Revista Chapingo. Serie Horticultura 5: 5-11.
- Cabrera** R. I. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta Department of Horticultural Sciences Texas A&M University
- Camargo** I.D., Tapia L.R. and Núñez F.J. 2015. Ecotypic variation in growth responses to simulated herbivory: trade-off between maximum relative growth rate and tolerance to defoliation in an annual plant. AoB PLANTS 7: plv015;doi:10.1093/aobpla/plv015. *On line* [https://www.researchgate.net/publication/272945315\\_Ecotypic\\_variation\\_in\\_growth\\_responses\\_to\\_simulated\\_herbivory\\_Trade-off\\_between\\_maximum\\_relative\\_growth\\_rate\\_and\\_tolerance\\_to\\_defoliation\\_in\\_an\\_annual\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/272945315_Ecotypic_variation_in_growth_responses_to_simulated_herbivory_Trade-off_between_maximum_relative_growth_rate_and_tolerance_to_defoliation_in_an_annual_plant) (consultado en marzo 2015).
- Castillo** A, Silvio H. Quarín S, Iglesias M. 2000. Caracterización química de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. Agric. Téc. 60: 74-79.

- Cruz -Crespo E.**, Can-Chulim A., Sandoval- Villa M., Bugarín-Montoya R., Robles-Bermúdez A. y Juárez-López P. 2013. Sustratos en la horticultura. *Bío Ciencias*. 2 (2): 17-26
- Cruz -Crespo .E.**, Sandoval –Villa M., Volke-Haller V., Ordaz, Chaparro.V., Tirado-Torres .J.L. y Sánchez –Escudero J. 2010. Generación de mezclas de sustratos mediante un programa de optimización utilizando variables físicas y químicas. *Terra Latinoamericana* 28:219-229.
- Durán L.** y Henríquez C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51.
- Escalante E. J. A. S.**, Rodríguez G. M. T. y Escalante E. Y. I. 2013. Modelo de biomasa, área foliar específica y razón de peso foliar de maíz forrajero en función de unidades calor.
- Fierro A.A.**, González-López M.M., Montiel S.D., Ruiz J.D., Olivares O.L.J. y Romualdo J.C. 2004. Uso de sustratos en contenedores una práctica común en la horticultura ornamental, es práctica agrícola sostenible. Documento *online*.  
[http://www.somas.org.mx/imagenes\\_somas2/pdfs\\_libros/agriculturasostenible6/61/47.pdf](http://www.somas.org.mx/imagenes_somas2/pdfs_libros/agriculturasostenible6/61/47.pdf)
- Flores H. A.** Hernández H. J. A. Madinaveitia R. H. Valenzuela N. L. M. Murillo A. B. Rueda P.E.O. García H. J. L. Ortiz C.H.G. 2011. Evaluation of natural populations and habitat of blue palm (*yucca rigida*) in Mapimí, Durango, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 315 - 321
- Flores-Rivera E.** 2009. Potencial productivo del orégano (*lippia graveolens* hbk.) Y calidad de su aceite esencial en dos localidades del Mezquital, Dgo. Tesis. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango.
- Galindo J.R.** y Clavijo J. 2007. Modelos alométricos para estimar el área de los foliolos de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Corpoica—Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 8(1): 37- 43.
- García C.O.**, Alcántar G.G., Cabrera R.I., Gavi R.F. y Volke H.V. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana* 19(3): 249-258.
- García-Valenzuela N. A.** 2012. Aprovechamiento de orégano silvestre (*lippia spp.*), en la comunidad de Tesila, el Fuerte, Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Sustentable de Recursos Naturales. Universidad Autónoma Indígena de México Institución Intercultural del Estado de Sinaloa.
- González- Nieves C.**, Arreola-Ávila J. G., García-Herrera G., Rodríguez-López J.S., Carrillo-Flores R., Esquivel-Arriaga O. y Villa-Castorena M. 2010. Efectos de tratamientos pregerminativos en la emergencia y crecimiento de plántulas de orégano (*Lippia graveolens* HBK). *Revista Chapingo serie zonas Áridas*. 9:129-134
- González-Solano K. D.** Rodríguez-Mendoza M. N., Trejo-Tellez L. I., Sánchez-Escudero J. y García-Cué J. L. 2013. Propiedades químicas de tés de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. 5

- Gutiérrez-Castorena** M. D. C.; Hernández -Escobar J.; Ortiz-Solorio C. A.; Anicua -Sánchez R.; Hernández- Lara M.E. 2011. Relación porosidad-retención de humedad en mezclas de sustratos y su efecto sobre variables respuesta en plántulas de lechuga. Revista Chapingo Serie Horticultura 17(3): 183-196.
- Hernández** G. E. 2011. Eficiencia fisiológica de variedades de tomate de cáscara con diferentes hábitos de crecimiento. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados campus montecillo, Texcoco, Estado de México. 58 pp.
- Hernández** V. B. 2010 Eficiencia de sistemas de producción del chile poblano para agricultura protegida. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 106 pp.
- Hidalgo** L, Sindoni M, Méndez JR. 2009. Importancia de la selección y manejo adecuado de sustratos en la producción de plantas frutales en vivero. Revista Científica UDO Agrícola; 19: 282-288.
- Hunt** R. 1990. Plant Growth Analysis. Studies in Biology. 96: 67.
- Jarma**, A.; T. Rengifo y H. Aramendia. 2006. Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. Agron. Colomb. 24(1).
- Kämpf** A. N., Takane R. J., Siqueira, P.T. V. 2006. Floricultura, Técnicas de preparo de sustratos. Brasilia: LK editora, 132.
- Luna** R. M. R. EnríquezV.J. R. Velasco V. V. A. y Chávez S. J. L. 2010. Efecto del sustrato y fertirriego en el crecimiento inicial de vitro-plantas de *Musa sp. cv. Roatán*. Naturaleza y Desarrollo 8 (2), 39.
- Martínez** V.N., López A.C.V., Basurto S.M. y Pérez L.R. 2011. Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. Tecnociencia. Chihuahua 5(3): 156-161.
- Meléndez** G. R; Ortega, R., S. A. y Peña, R., R. 1991. Estado actual del conocimiento sobre el orégano en México. Documentos presentados en la Primera Reunión Nacional Sobre Orégano. Bermejillo, Durango, México.
- Moreno** E. del C., Sánchez C.F., González M.L.A., Pérez M.C. y Magaña L.N. 2010. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. Terra Latinoamericana 29: 57-63.
- Orozco** V. J.A., Coronado P. Y., Segura C. M.A., Valdez C. R., Martínez R.C. E., Montemayor T.J.A., Fortis H.M. y Preciado R.P. 2011. Análisis de crecimiento de tres variedades de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) en una región árida de México. FYTON ISSN 80
- Ortega** M. L. D., Sánchez O. J., Díaz R. R. y Ocampo M. J. 2010. Efecto de diferentes sustratos en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). Ra Ximhai. 6(3) pp. 365-372,

- Palomo** G.A., Orozco V.J.A., Gutiérrez del R.E., Espinoza B.A. y Rodríguez H.S. 2003. Análisis de crecimiento de variedades de algodón transgénicas y convencionales. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México. Documento online <http://uaaan.mx/DirInv/Rdos2003/cultbasicos/analisis.pdf>
- Pérez** A.J.A., García M. E., Enríquez Q. J. F., Quero C. A. R., Pérez P. J., Hernández G. A. 2004. Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto "mulato" (*Brachiaria* híbrido, cv.). *Pecu Méx*;42(3)
- Poincelot**, R. P. 2004. *Sustainable Horticulture*. Ed. Prentice Hall. New Jersey. USA. 870 p.
- Pineda–Pineda** J., Castillo–González A. M., Morales–Cárdenas J. A., Colinas–León M. T., Valdez–Aguilar L. A. y Avitia–García E. 2008. Efluentes y sustratos en el desarrollo de nochebuena. *Rev. Chapingo Ser.Hortic* (14): 2
- Quesada** R.G. y Méndez S.C. 2005a. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía mesoamericana* 16(2): 171-183.
- Quesada** R.G. y Méndez S.C. 2005b. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía mesoamericana* 16(2): 171-183.
- Quintero** C. M.F., González M. C.A. y Guzmán P. J.M. 2011. Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. En: Flores R., V.J. (Ed.). *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia. pp. 79-108.
- Rodríguez** M.R., Alcantar G.E.G., Iñiguez C.G., Zamora N.F., García L.P.M., Ruiz L.M.A. y Salcedo P.E. 2010. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. *Interciencia* 35(7): 515-520.
- Romero** F. J.C., Rodríguez M.M.N., Gutiérrez C.M.C. y Sánchez E.J. 2013. Vermicompost como sustrato en la producción de menta (*Mentha piperita* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (5) 889-899.
- Rojas** V. A.N. 2010. Cultivo hidropónico y manejo nutrimental de la producción anual de *Antirrhinum majus* L. en condiciones de invernadero. Tesis de doctorado en ciencias, Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 74pp.
- Salisbury** F. y Ross C.W. 2000. *Fisiología de las plantas*. Ed. Thomson Learning. España.
- San Martín** H.C. 2011. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de "tezontle". Tesis de maestría en ciencias, Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. 98 pp.
- SAS Institute Inc** .2002. Cary NC; USA. Proprietary Software vesion 9.0. (TS MO). Licensed to SUNY AT STONY BOOK.
- SEMARNAT**.2011. paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia spp.*)

- Sedano** C. G. González H. V. A., Engleman E. M. y Villanueva. V. C. 2005. Dinámica del crecimiento y eficiencia fisiológica de la planta de calabacita. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 11: 291-297.
- Silva-Vázquez** R., Bejara H.M. y Vázquez B.M.E. 2012. Producción de semilla mejorada de orégano *Lippia berlandieri* (Schauer). Sociedad Científica del Orégano. *On line*.  
<http://sociedadcientificadeloreganoac.blogspot.mx/2012/02/investigacion-del-oregano-7.html?view=sidebar>
- Singh** B.P. y Sainju U.M. 1998. Soil physical and morphological properties and root growth. *Horti Science* 33(6): 966-971.
- Trejo-Téllez** L.I. Ramírez M. M. Gómez M. F. C. García A. J. C., Baca C. G.A.y Tejeda S. O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (5).
- Valenzuela** L. M., Partida R. L., Díaz V. T., Velázquez A.T. J., Bojórquez B. G. y Enciso O. T. 2014. Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5 (5).
- Valenzuela** O. y Gallardo C. 2002. Un insumo clave en los sistemas de producción de plantines: Sustratos Hortícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. Argentina. Documento *online* <http://www.biblioteca.org.ar/libros/210663.pdf>
- Valles** R. G.J., Lugo G. J.G., Rodríguez G.Z.F. y Díaz T. L.T. 2009. Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Rev. Fac. Agron.* 26.
- Villa Castorena** M.M., Catalán V.E.A., Inzunza I.M.A., Román L.A. y González L.M.L. 2011. Producción de plántula de orégano para trasplante en campo. SAGARPA-INIFAP. México. 42p
- Villar** R., Ruiz R. J., Quero J.L., Poorter H., Valladares F. y Marañón T. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: Valladares, F. (Ed.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*.191-227.
- Zárate** N. B.H. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con sustratos, bajo invernadero. Tesis de maestría en ciencias. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-unidad Oaxaca. 159pp.

## CAPITULO 3

### FERTILIZACIÓN ORGÁNICA Y MINERAL EN LA PRODUCCIÓN DE ORÉGANO MEXICANO EN INVERNADERO

#### RESUMEN

El objetivo de la investigación fue medir la respuesta de las plantas de orégano a la nutrición orgánica e inorgánica durante su desarrollo en invernadero y la cantidad de aceites esenciales en función del manejo. Plántulas de orégano de 41 dds desarrollada en peat moss, tezontle y fibra de coco fueron trasplantadas a bolsas de plástico con una mezcla de tierra de monte y perlita. La nutrición de las plantas se hizo con tratamiento orgánico la aplicación de AXESTIM® y el tratamiento inorgánico solución Steiner. Con los tallos y hojas de las plantas y mediante hidrodestilación se realizó la extracción y obtención de los aceites esenciales, posteriormente por medio de cromatografía en capa fina se determinó la calidad y concentración de aceites de cada tratamiento. Los resultados muestran que durante el crecimiento en el invernadero las plantas cuyo sustrato en almácigo fue peat moss y la fertilización fue inorgánica presentaron mayor crecimiento que los otros tratamientos. Las plántulas que provenían de almácigos de peat moss y cuya fertilización fue la orgánica fue el tratamiento que presentó mejor rendimiento y calidad de aceite esencial.

#### INTRODUCCIÓN

La principal fuente de orégano, es la proveniente de las colectas realizadas en regiones silvestres que forma parte de la vegetación secundaria de bosques y regiones semiáridas (Huerta 1997). Desde el punto de vista tradicional de la especie, se le atribuyen grandes propiedades benéficas para la salud, específicamente por la producción de aceite esencial que presenta propiedades antioxidantes y antibióticas (Rocha *et al.*, 2007). Gracias a esto, el orégano mexicano es un recurso de gran interés y con potencial en industrias como la agronómica, farmacéutica, cosmética, perfumería y de alimentos (Biswas *et al.*, 2009).

En los últimos años se ha presentado un incremento en el interés y demanda de la especie en diversas industrias, por sus múltiples cualidades y aplicaciones. Al depender de las poblaciones de zonas naturales, existe una reducción del recurso natural así como una limitada obtención de material para realizar una explotación racional y comercialización. De ahí, que se tiene la necesidad de establecer alternativas de cultivo, como la producción viverística, la cual se emplea para asegurar el prendimiento y logra arraigar un alto porcentaje de plantas que posteriormente podrán ser trasplantadas a campo (Silva, 1999) y así poder disponer material para diversos fines como los análisis químicos de aceite esencial y evaluar su calidad (Corella y Ortega, 2013). Tomando en cuenta la información anterior el objetivo planteado en esta investigación, es generar una formulación para la nutrición de plantas de orégano una vez trasplantadas para su cultivo en vivero.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Trasplante**

Para obtener las plántulas utilizadas en esta etapa, en la fase anterior de esta investigación se realizaron almácigos con peat moss, fibra de coco y tezontle. El trasplante se realizó a los 41 días después de la siembra (30 plántulas por sustrato) en bolsas negras de 20x20 utilizando como sustrato una mezcla con 80 % de tierra negra y 20% perlita. Para tener una referencia del desarrollo, al trasplante se contabilizó el número de hojas y la longitud de plántula.

### **Diseño de tratamientos y diseño experimental**

El diseño fue factorial 3x2. Con tres fuentes de origen de sustrato (peat moss, fibra de coco y tezontle) y dos sistemas de nutrición en el riego (orgánico e inorgánico) que da un total de seis tratamientos (Cuadro 1). El diseño experimental fue un completamente al azar con 15 repeticiones por tratamiento y se localizó en invernadero, de área de Nutrición Vegetal.

**Cuadro 3.1** Tratamientos evaluados en fase de invernadero.

<b>Sustrato de procedencia en almácigo</b>	<b>Nutrición a la planta</b>	<b>Clave de identificación</b>
Peat moss	Orgánico	PM/O
	Inorgánico	PM/I
Fibra de coco	Orgánico	FC/O
	Inorgánico	FC/I
Tezontle	Orgánico	TZ/O
	Inorgánico	TZ/I

### **Solución orgánica e inorgánica**

Como solución orgánica se utilizó producto comercial AXESTIM® en una proporción de 7.6 mL por litro de agua a un pH de 5.5 (Cuadro 3.2) y como solución inorgánica la solución Steiner al 100% con un pH de 5.5-6.5 (Cuadro 3.3). La frecuencia de riegos se hizo tres veces por semana, dos con soluciones y uno con agua, la cantidad aplicada fue de 50mL por unidad experimental.

**Cuadro 3.2** Formulación de producto comercial AXESTIM®.

<b>COMPONENTES</b>	<b>CANTIDAD % p/v</b>
Nitrógeno	7.30
Aminoácidos libres	10.0
AATC	2.9
M.O.s.m.s	13.30
Ácido Fólico	0.58

**Cuadro 3.3** Formulación de la solución Steiner.

<b>FERTILIZANTE</b>	<b>CANTIDAD gL<sup>-1</sup></b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	1.062
KNO <sub>3</sub>	0.303
KSO <sub>4</sub>	0.261
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	0.492
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.136
Solución de micronutrientos + Fe EDTA	1.0 mL <sup>-1</sup>

### **Variables de crecimiento evaluadas durante el desarrollo**

El experimento se desarrolló en el invernadero por tres meses, las mediciones realizadas fueron una vez al mes, las cuales fueron:

- Altura de planta con un flexómetro.
- Diámetro de tallo con un vernier digital.
- Cuantificación de número de hojas.
- Cuantificación de número de ramas.

Al corte de la planta (104 ddt) con la destrucción de las plantas se realizaron las mediciones y la extracción de aceites esenciales:

- Altura de la planta con un flexómetro.
- Diámetro de tallo en la base con un vernier digital.
- Cuantificación de número hojas.
- Cuantificación de número de ramas.
- Peso seco de raíz, las raíces fueron separadas de la parte aérea, lavadas y se colocaron dentro de bolsas de papel estraza para secar dentro de un horno de aire forzado a 70°C durante 72 horas, posteriormente se pesaron en balanza analítica.

## Extracción y rendimiento de aceites esenciales

Para determinar los aceites esenciales se realizó la trituración de la parte aérea de cada muestra en fresco y se pesaron. Debido a la limitante de material vegetal por efecto de los tratamientos, se pesaron cantidades distintas de cada muestra siendo:

- PM + inorgánico 22.1g.
- PM + orgánico 16.8g.
- TZ + inorgánico 4.9g
- TZ + orgánico 4.8g
- FC + inorgánico 1.3g
- En las plantas de fibra de coco y riego orgánico no se realizó la extracción de aceite esencial debido al escaso material vegetal.

Finalizado el pesado de las muestras se realizó la hidrodestilación por tres horas de cada muestra por separado, para ello se utilizó: una parrilla de calentamiento, un matraz balón, una trampilla de recuperación y un condensador por donde recirculaba agua fría para evitar la pérdida de aceite por volatilización. Terminada la hidrodestilación se recuperó la fracción orgánica haciendo tres lavados con 25 mL de diclorometano en un embudo de separación, al término de los lavados para asegurar que la muestra no tuviera agua se le agregó un gramo de sulfato de sodio anhidro y se dejó reposar durante 10 minutos, al término de este tiempo se hizo la concentración del aceite por medio de destilación a presión reducida utilizando el rotavapor, finalmente las muestras se guardaron en viales plásticos de 2 mL.

Mediante cromatografía en capa fina utilizando una placa de sílica gel y base de aluminio de 10 x 10 cm. Utilizando un capilar, se hicieron las aplicaciones de cada muestra sobre la placa, posteriormente la placa se introdujo a una cámara de elusión la cual contenía 25 mL de una mezcla 93:7 de tolueno – acetato de etilo, hasta que la placa quedara cubierta por esta mezcla, una vez impregnada la placa se dejó secar por 20 minutos y se observó en una cámara de rayos UV. El revelado de la placa se hizo asperjando una solución de vainillina+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 10% y secando dentro de una estufa a 110°C por 5 minutos. La identificación de los compuestos se hizo

comparando con un control de carvacrol al 98 % grado reactivo para observar las diferencias de concentración entre tratamientos. Finalmente se calculó el rendimiento de aceite de cada muestra por medio de la fórmula:  $P = \frac{M1}{M2}$  en donde

$P$ = rendimiento de aceite,  $M1$ = masa final del aceite y  $M2$ = masa inicial de follaje.

### **Análisis estadístico**

Las pruebas estadísticas consistieron en un análisis de varianza de las variables en estudio y fecha de muestreo, así como la interacción tratamiento – fecha de muestreo utilizando el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002).

## **RESULTADOS OBTENIDOS Y DISCUSIÓN**

Al momento de realizar el trasplante de los almácigos a las bolsas de la fase de invernadero se observó que las diferencias entre las plántulas eran notorias, siendo las plántulas que provenían de peat moss las que tenían mayor tamaño y mayor desarrollo de hojas, le siguieron las plántulas provenientes de tezontle y finalmente las de fibra de coco. El análisis estadístico de las variables por fechas de muestro indicó diferencias altamente significativas independientemente del origen de la plántula (Apéndice A-2.1).

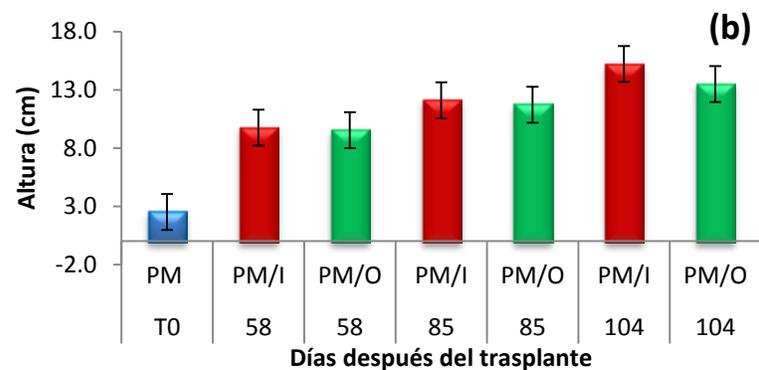
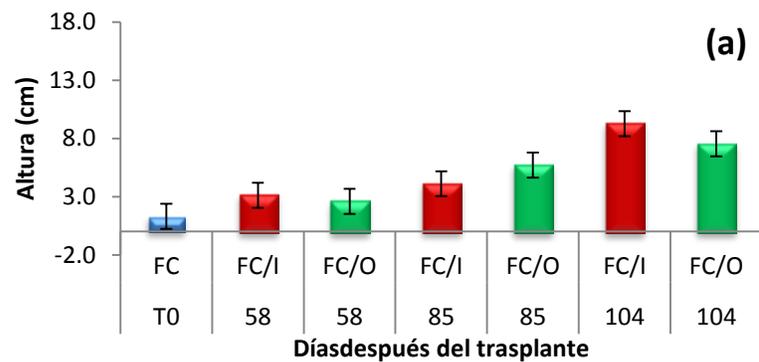
En relación a las fuentes de mineralización de las plantas durante su desarrollo en invernadero el análisis estadístico indicó diferencias altamente significativas entre la nutrición orgánica (AXESTIM®) y la inorgánica (Steiner). El propósito de esta etapa fue llevar el cultivo a producción ya sea con fines de reforestación o para la extracción de aceites esenciales.

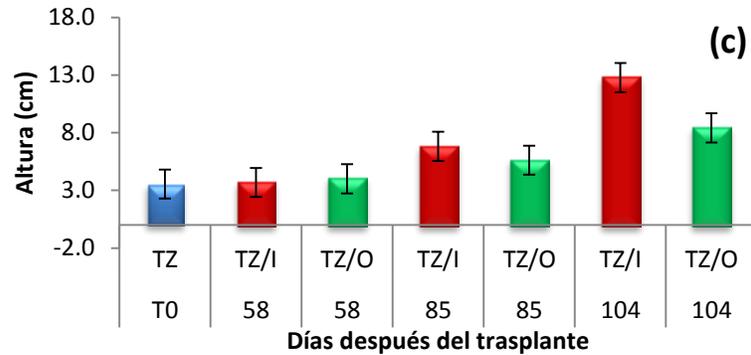
Los efectos de la fertilización mostraron diferentes efectos en las plantas, las que fueron regadas con solución inorgánicas tuvieron mayor altura, diámetro de tallo y desarrollo de raíz. En tanto que las fertilizadas con solución orgánica presentaron mayor número de hojas y ramas. En el análisis estadístico las diferencias entre las variables fueron altamente significativas como se presentan en el Apéndice A-2.2.

## Crecimiento en invernadero

### Altura de planta

La altura de las plantas se presenta en la Figura 3.1, en donde se aprecia que con la aplicación de solución Steiner (I) se desarrollaron las plantas más largas, que con la aplicación de la solución orgánica, independientemente del sustrato de procedencia, esta tendencia se presentó desde los 58 ddt y se mantuvo hasta los 104 ddt para todas las plantas, resultados similares fueron reportados por Escamilla *et al.*, (2003), quienes al evaluar fertilización orgánica y mineral en cultivo de papaya, esta última produjo mayor crecimiento en las plantas que la orgánica, también se aprecia que las plantas provenientes de tezontle presentaron mayor retraso en crecimiento siendo hasta los 85 ddt cuando el crecimiento fue notorio.



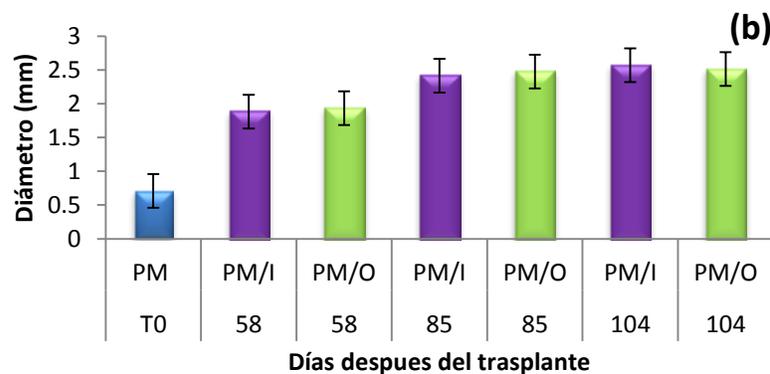
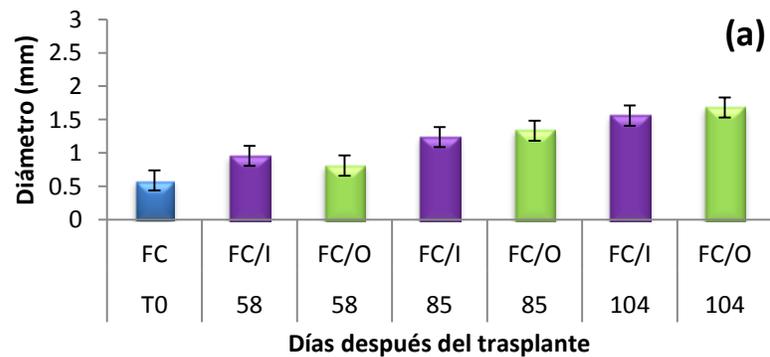


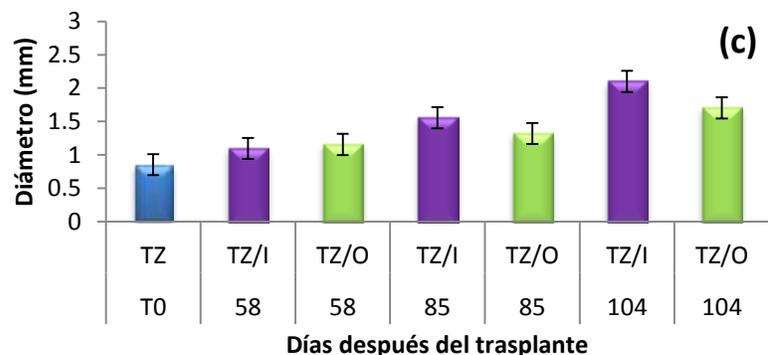
**Figura 3.1** Altura de las plantas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero y procedentes de almácigos con Fibra de Coco (a), Peat Moss (b), Tezontle (c), comparando el tipo de riego de riego orgánico (O) e inorgánico (I) a los 58, 85 y 104 ddt T0= tiempo inicial (trasplante).

El análisis estadístico (Apéndice A-2.1), mostró diferencias altamente significativas para esta variable entre fechas de muestreo, lo cual es lógico dado que la planta está en crecimiento. En la interacción altura-sustrato de procedencia, el análisis de varianza, mostró diferencias por el origen de las plántulas, ya que las provenientes de peat moss tuvieron mayor altura que las provenientes de almácigos de fibra de coco y tezontle aun cuando las soluciones de riego fueron aplicadas de la misma manera a cada tratamiento. Finalmente al comparar la altura de las plantas que procedían de un mismo sustrato, no se encontraron diferencias significativas entre las plantas que fueron regadas con solución orgánica de las que se regaron con solución inorgánica, a pesar de que el crecimiento fue mayor para las plantas cuyo riego fue inorgánico y contrario a lo reportado en la investigación, Prieto *et al.*, (2005) y Oropesa *et al.*, (2011) encontraron que la mayor altura de plantas se dio con tratamientos orgánicos, mencionando que estos tratamientos favorecen el crecimiento de las plantas debido no solo a la acción de los nutrimentos como tal sino que al incorporar fuentes orgánicas estimulan la actividad de microorganismos que ayudan a la mejor disponibilidad de los nutrimentos a la planta.

## Diámetro de tallo

En la Figura 3.2, se presenta el desarrollo del diámetro de tallo para cada tratamiento. Para esta variable se observó un incremento continuo y diferencias altamente significativas durante el paso del tiempo, lo cual es un comportamiento normal propio del crecimiento. Las plantas regadas con solución inorgánica presentaron mayor diámetro de tallo que las regadas con solución orgánica, lo que concuerda con lo reportado por Escamilla *et al.*, (2003) y Cañellas *et al.*, (2004), lo cual atribuyen principalmente a la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes (Borlina *et al.*, 2001), también se aprecia que en esta variable las plantas cuyo sustrato de procedencia fue la fibra de coco presentaron un retraso mayor ya que las diferencias fueron notorias hasta los 85 ddt en comparación con los otros tratamientos donde las diferencias se presentaron desde el primer muestreo a los 58 ddt.





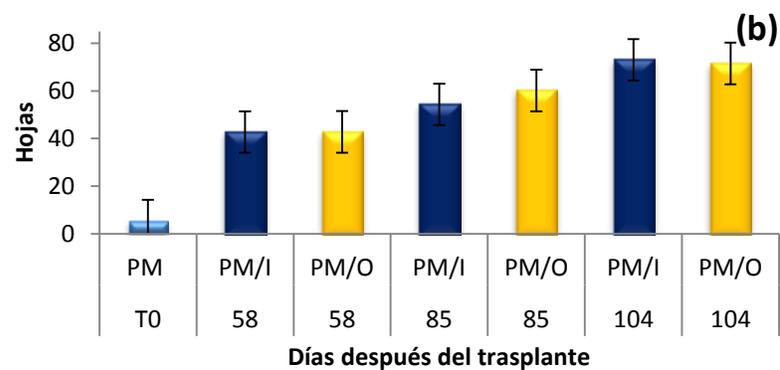
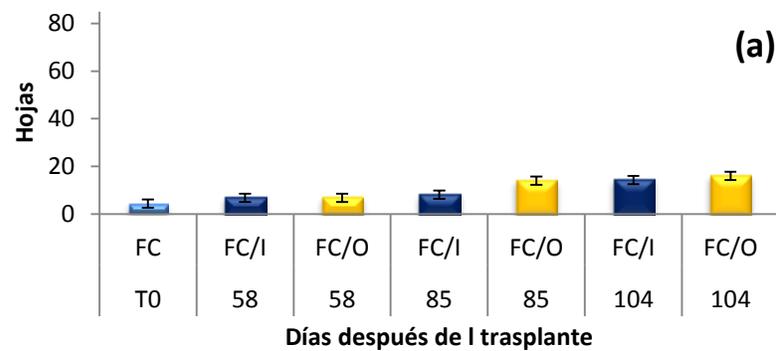
**Figura 3.2** Diámetro de tallo de las plantas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero y procedentes de almácigos con Fibra de Coco (a), Peat Moss (b), Tezontle (c), comparando el tipo de riego orgánico (O) e inorgánico (I) a los 58, 85 y 104 ddt T0= tiempo inicial (trasplante).

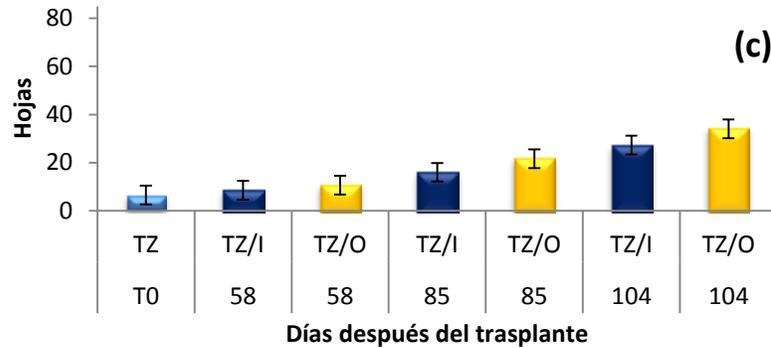
El análisis diámetro de tallo – sustrato de procedencia indicó diferencias altamente significativas (Apéndice A-2.1) en las plantas cuyo almácigo fue peat moss, presentaron los valores más altos que las provenientes de fibra de coco y tezontle. En el análisis del diámetro de tallo de plantas provenientes de un mismo sustrato, a pesar de haber diferencias numéricas entre las regadas con solución inorgánica y las regadas con orgánica, estadísticamente no se encontraron diferencias significativas (Apéndice A-2.2). De acuerdo con Juárez- Rosete, (2010) y Martínez *et al.*, (2011) el que las plantas cuya fertilización se realizó con la solución inorgánica tuvieron mayor vigor se debió a que las sales minerales se encuentran en mayor disposición para el cultivo.

### Número de hojas

La cantidad de hojas desarrolladas durante la fase de vivero se presenta en la Figura 3.3 para cada uno de los tratamientos. Analizando la relación número de hojas-tiempo se observó que la cantidad de hojas empezó a incrementar a partir de los 85 ddt, sin embargo al realizar el análisis de varianza (Apéndice A-2.1), las diferencias altamente significativas se presentaron hasta los 104 ddt. Al analizar la relación número de hojas-sustrato de procedencia, se observaron diferencias estadísticas

significativas entre todos los tratamientos siendo las plantas cuyo almácigo fue peat moss las que desarrollaron mayor número de hojas con respecto a las provenientes de fibra de coco y tezontle. Al analizar estadísticamente número de hojas-tipo de fertilización, de plantas provenientes de un mismo sustrato, no se encontraron diferencias significativas (Apéndice A-2.2), entre las que fueron fertilizadas orgánicamente de las que su fertilización fue inorgánica, a pesar de que de manera general la fertilización orgánica promovió mayor número de hojas.



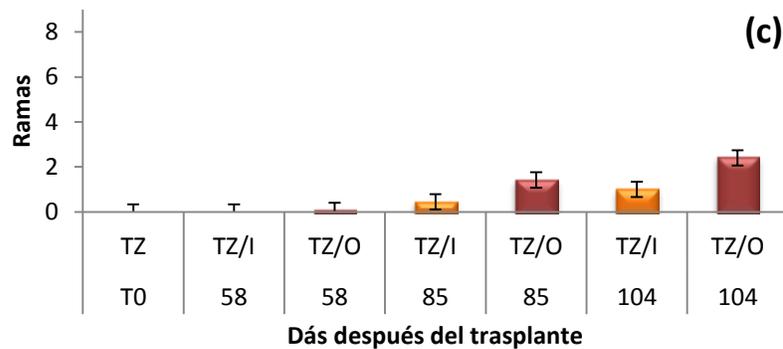
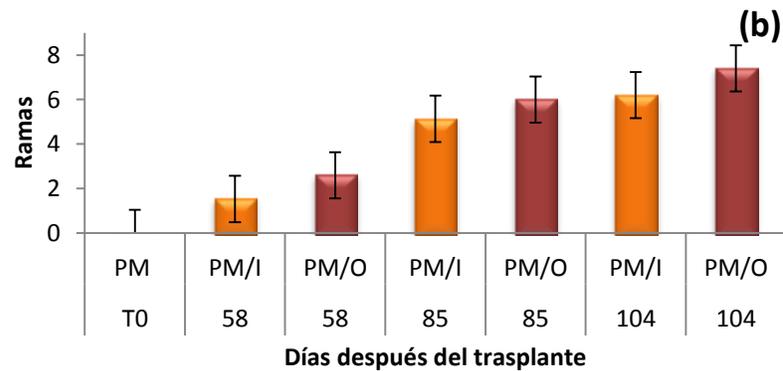
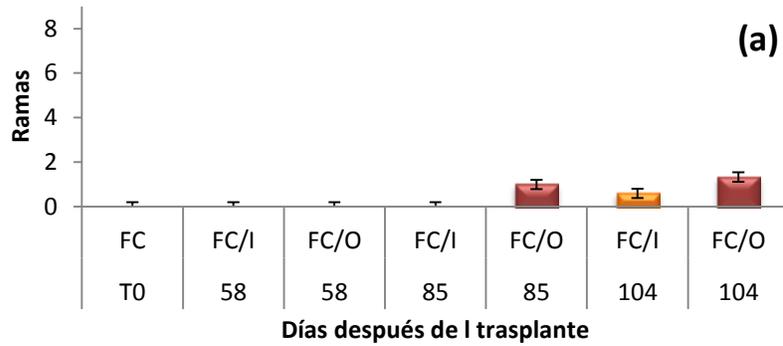


**Figura 3.3** Número de hojas en las plantas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero y procedentes de almácigos con Fibra de Coco (a), Peat Moss (b), Tezontle (c), comparando el tipo de riego orgánico (O) e inorgánico (I) a los 58, 85 y 104 ddt T0= tiempo inicial (trasplante).

El comportamiento en esta variable fue similar a lo investigado por Tejeda *et al.*, (2013) y Prieto *et al.*, (2005) quienes realizaron investigaciones en orquídeas y toronjil y mencionan que tuvieron los mejores resultados aplicando soluciones orgánicas, que contienen aminoácidos, que promueven actividad de microorganismos benéficos en la rizósfera y por lo tanto la asimilación de agua y nutrientes, y de esta manera estimular el crecimiento de las plantas.

### Número de Ramas

En la Figura 3.4 se presenta el desarrollo de ramas secundarias durante la etapa de vivero para cada uno de los tratamientos. Con respecto a la relación número de ramas-tiempo al hacer el análisis de varianza, hubo diferencias significativas hasta los 104 ddt (Apéndice A-2.1). En la relación número de ramas-sustrato de procedencia se observó que nuevamente las plantas que presentaron más ramas fueron las que se trasplantaron de almácigo de peat moss en comparación con las provenientes de fibra de coco y tezontle.



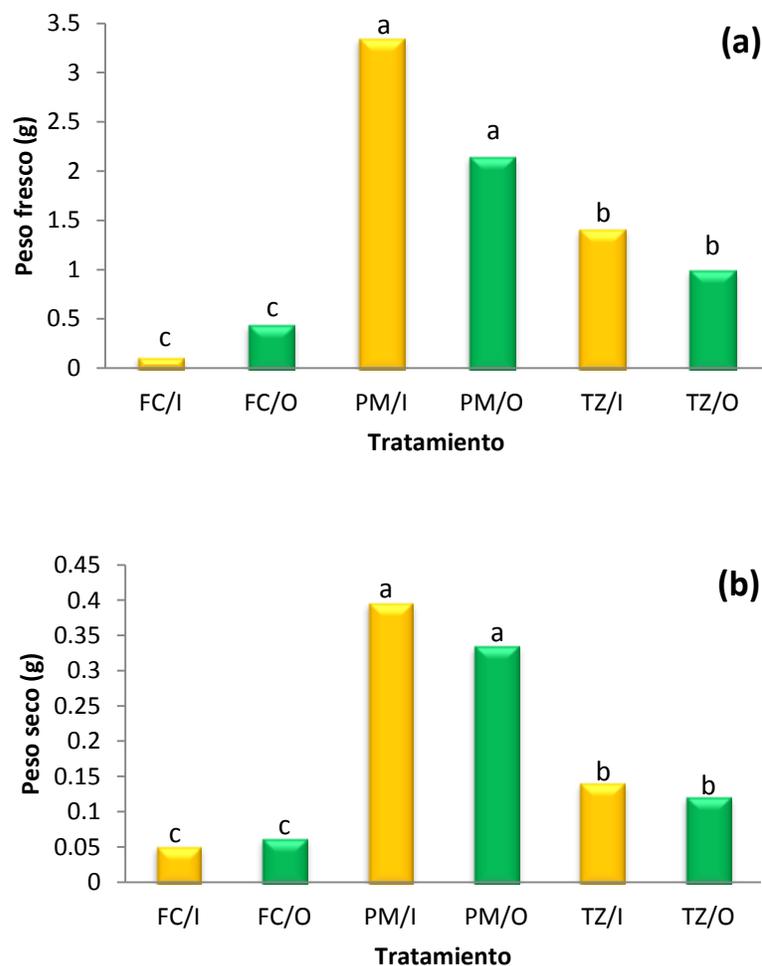
**Figura 3.4** Número de ramas en las plantas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero y procedentes de almácigos con Fibra de Coco (a), Peat Moss (b), Tezontle (c), comparando el tipo de riego orgánico (O) e inorgánico (I) a los 58, 85 y 104 ddt T0= tiempo inicial (trasplante).

Estos resultados se reafirman con el análisis de varianza, en donde las diferencias significativas fueron de peat moss con respecto a fibra de coco y tezontle. Al observar la relación número de ramas-tipo de fertilización se ve de manera general que la fertilización orgánica fomentó una mayor producción de ramas respecto a la fertilización inorgánica, sin embargo el análisis de varianza indicó que estas diferencias fueron altamente significativas para el tipo de fertilización entre plantas procedentes del mismo sustrato (Apéndice A-2.2). Al observar el desarrollo de número de ramas, los tratamientos de riego con solución orgánica fueron los que presentaron los valores más elevados. Como lo señalan (El-Mohamedy y Ahmed, 2009 y Tejeda *et al.*, 2013) esto se debe a que en la fertilización con productos orgánicos no solo se aplican nutrimentos, sino también estimulantes de microorganismos presentes en la tierra de monte, haciendo que estos ayuden a una mejor disponibilidad de nutrimentos y en consecuencia el mejor desarrollo de estos órganos (Machado *et al.*, 2010).

Para el orégano mexicano la formación en particular de ramas y hojas es de gran importancia ya que en estos órganos, es dónde se localiza la mayor concentración de compuestos volátiles como los aceites esenciales, que su vez son los responsables del aroma y sabor característicos de la especie y que le dan características comerciales deseables (García *et al.*, 2012). Además la fertilización orgánica beneficia la cantidad de tricomas glandulares y en consecuencia la producción de aceite esencial (Borlina *et al.*, 2001).

### **Peso fresco y seco de raíz**

En la Figura 3.5 se muestra el peso fresco y seco de las raíces al momento del corte para realizar la extracción de aceites esenciales (104 ddt). El análisis de varianza (Apéndice A-2.1) mostró diferencias estadísticas en las raíces más desarrolladas provenientes de plántulas cuyo sustrato de procedencia fue el peat moss, posteriormente las de tezontle y finalmente las de fibra de coco. En el tipo de nutrición aplicada, la inorgánica fue la que produjo la mayor cantidad de raíces, a pesar que el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas (Apéndice A-2.2).



**Figura 3.5** Peso fresco de raíz (a) y Peso seco de raíz (b) en las plantas de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) desarrolladas en tierra de monte y perlita en invernadero y procedentes de almácigos con Fibra de Coco =FC, Peat Moss=PM, Tezontle=TZ, comparando el tipo de riego de riego orgánico (O) e inorgánico (I) a los 104 ddt.

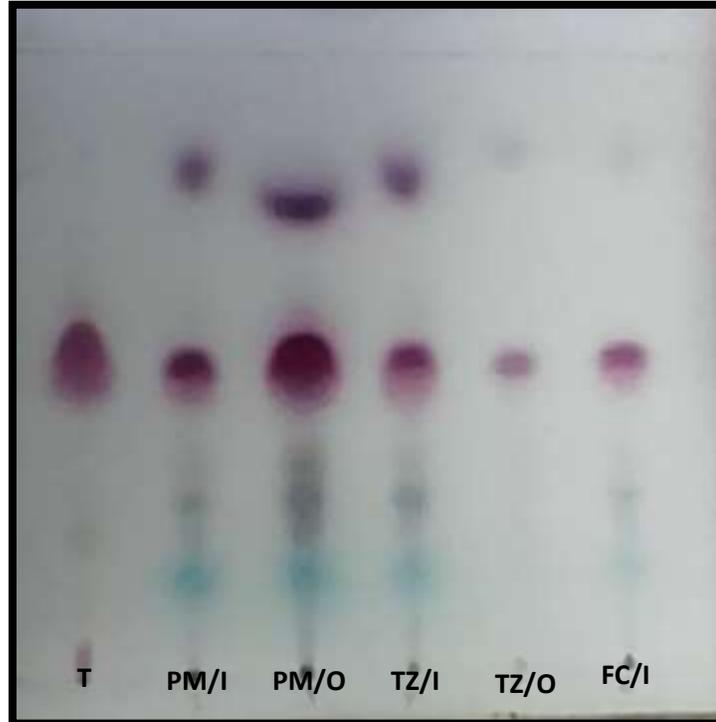
En los valores de peso seco de raíces se observa nuevamente que las plantas cuyo sustrato en almácigo fue el peat moss presentaron mayor peso fresco y seco en comparación con tezontle y fibra de coco. Al realizar el análisis de varianza las diferencias significativas fueron entre los sustratos de procedencia de las plantas, sin embargo al comparar los tipos de fertilización y su influencia en el peso de las raíces, no se encontraron diferencias significativas entre fertilización orgánica e inorgánica. En los resultados se observó que los tratamientos cuyo riego fue el

inorgánico fueron los que generaron mayor proporción de raíces, estos resultados concuerdan con los reportados por Juárez-Rosete (2010) en su evaluación de especies aromáticas, sin embargo difieren de los reportados por Chaimsohn *et al.*, (2007) quienes indican que la formación de raíces tanto finas como gruesas tuvieron mejor desarrollo cuando aplicaron fertilización de tipo orgánica. A pesar de los beneficios proporcionados por los productos orgánicos en el desarrollo de raíces, en esta investigación se vio más favorecida por la nutrición inorgánica, esto debido a la mayor cantidad de nutrimentos de la solución y la rápida asimilación de estos como N, P y Mg (Silva *et al.*,2000 y Chaimsohn *et al.*, 2007).

### **Extracción y rendimiento de aceites esenciales**

La extracción de aceite esencial se realizó en todos los tratamientos excepto en el tratamiento FC/O debido a que durante la etapa de invernadero el desarrollo de las plantas no fue el adecuado para poder obtener suficiente material vegetal para realizar la extracción.

En la Figura 3.6 se presenta la cromatografía en capa fina del aceite esencial de orégano para los tratamientos desarrollados durante la etapa de vivero. Comparando los tratamientos, PM/O fue el que promovió mayor calidad de aceite. Se observó que el carvacrol (color rojizo), que es uno de los principales compuestos del aceite esencial de orégano (Martínez, 2012) se encontró presente en todas las muestras al ser comparado con el testigo de carvacrol grado reactivo al 98% y ser corroborado con el perfil cromatográfico establecidos por Wagner y Bladt (1996). De igual manera trabajos como los de Grigore *et al.*, (2010) señalan un valor de tiempo de retención (Rf) de 0.49 para este compuesto.



**Figura 3.6** Placa cromatográfica de sílica gel destacando la presencia de carvacrol en el aceite esencial de orégano T=testigo Carvacrol al 98%.

En cuanto al rendimiento del aceite esencial (Cuadro 3.4), se presenta que el tratamiento PM/O generó la mayor cantidad de aceite esencial seguido de PM/I, FC/I, TZ/I y TZ/O, estos resultados son similares a los obtenidos por Juárez-Rosete *et al.*, (2012), quienes obtuvieron mayor rendimiento de aceites esenciales empleando fertilización orgánica en comparación con la inorgánica. Al cotejar los rendimientos obtenidos, con la cromatografía en capa fina, se observó que el tratamiento PM/O nuevamente fue el que presentó una mejor calidad de carvacrol. La mayor cantidad y calidad que presentó dicho tratamiento se debió a que la aplicación de productos orgánicos favoreció las condiciones de la rizósfera así como la buena asimilación de compuestos orgánicos que favorecen los procesos metabólicos de las plantas (Eyheraguibel *et al.*, 2008).

**Cuadro 3.4** Rendimiento de aceite esencial de orégano en los distintos tratamientos

<b>Tratamiento</b>	<b>Rendimiento aceite mg/g</b>
Peat moss + solución inorgánica	0.0174 b
Peat moss + solución orgánica	0.0331 a
Tezontle + solución inorgánica	0.0136 c
Tezontle + solución orgánica	0.0087 d
Fibra de coco + solución inorgánica	0.0162 bc

Al realizar el análisis de varianza se observó que existieron diferencias significativas en el tratamiento PM/O y los otros tratamientos, con esto se corroboró que la fertilización orgánica generó mayor rendimiento de aceites. Los resultados se vieron influidos por el sustrato de procedencia, ya que las plántulas cuyo almácigo fue peat moss al tener mayor desarrollo en el almácigo su adaptación a invernadero fue más rápida, esto se favoreció por las características físicas y químicas que como mencionan Moreno *et al.*, (2010) son fundamentales para que exista un adecuado crecimiento y desarrollo de los cultivos. Las condiciones de la plántula al momento del trasplante y el tipo de fertilización fueron los dos factores importantes en la producción de aceites ya que durante todo el desarrollo del vivero los tratamientos estuvieron sometidos a las mismas condiciones de temperatura, humedad y régimen de riegos, esto concuerda con lo reportado por Turgut y Silva, (2005) quienes establecen que la concentración de aceite de *Lippia graveolens* Kunth no se ve afectada por estos factores abióticos.

## **CONCLUSIONES**

- Durante esta etapa de invernadero las plantas que presentaron mejores características de crecimiento fueron las provenientes de almácigo de peat moss y el riego con solución Steiner.
- La mayor cantidad y calidad de Carvacrol se obtuvo en plantas provenientes de peat moss y la nutrición orgánica en invernadero.
- Es posible producir plantas de orégano *Lippia graveolens* Kunth para reforestar con el manejo de nutrición con solución Steiner y para extracción de aceites esenciales la nutrición con solución orgánica.

## LITERATURA CITADA

- Biswas**, K., A. Foster, t. Aung, and s. Mahmoud. 2009. Essential oil production: relationship with abundance of glandular trichomes in aerial surface of plants. *Acta Physioly Plant*. 31: 13–19.
- Borlina** M. N., O. Alves B., M. Ortiz M. M., N. Prado G. and Q. A. Camargo C. 2001. Essential oil production and quality of *Mentha Arvensis* L. grown in nutrient solutions *Acta Horticulturae*. 548:181-187.
- Cañellas** R. V. I., Bachiller B. A., Gaztelurrutia M. R., S. Gómez R. y González M. G. 2004. Efectos de la fertilización orgánica y mineral en el arraigo y desarrollo de especies mediterráneas durante los primeros años de la plantación. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 17
- Chaimsohn** F. P., Villalobos E., Mora U. J. 2007. El fertilizante orgánico incrementa la producción de raíces en pejibaye (*Bactris gasipaes* k.). *Agronomía Costarricense* 31(2)
- Corella**, B. R. A. y Ortega, N. M. M. 2013. Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* watson en el estado de sonora. *Biotecnia* 15 (1).
- El-Mohamedy**, R. S. R. and. Ahmed, M. A. 2009. Effect of biofertilizers and humic acid on control of dry root rot disease and improvement yield quality of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 5(2):127-137.
- Escamilla** G. J. L., Saucedo V. C., Martínez D. M. T., Martínez G. Á., Sánchez G. P. y Soto H. R. M. 2003. Fertilización orgánica, mineral y foliar sobre el desarrollo y la producción de papaya cv. Maradol. *Terra Latinoamericana*, 21(2) pp. 157-166, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
- Eyheraguibel**, B., J. Silvestre, and P. Morard. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Bioresource Tech.* 99: 4206-4212.
- García**, P.E., Castro A. F. F, Gutiérrez U. J. A. y García L. S. 2012. Revision of the production, phytochemical composition, and nutraceutical properties of Mexican oregano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3 (2).
- Grigore** A.; Paraschivina S.; Mihul C.; Bubueanu C.; Draghici E. and Ichim M. 2010. Chemical composition and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. volatile oil obtained by two different methods. *Romanian Biotechnological Letters* 15 (4).
- Huerta** C. 1997. Orégano mexicano: oro vegetal. *CONABIO. Biodiversitas* 15:8-13
- Juárez- Rosete**. C. R. 2010. Fertilización orgánica e inorgánica en la producción y calidad de aceites esenciales en manzanilla, menta y tomillo. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Postgrado de edafología.

- Juárez-Rosete**, C.R., Rodríguez-Mendoza, M.N., Trejo-Téllez, L.I. and Aguilar-Castillo, J.A. 2012. Inorganic and organic fertilization in biomass and essential oil production of *Matricaria recutita* L. Acta Horticulturae. (ISHS) 947:307-311
- Machado**, M; Dinis, A. M.; Salguero, L.; Cavaleiro, C.; Custódio, J. B. A. and do Céu Sousa, M. 2010. Anti-Giardia activity of phenolic-rich essential oils: effects of *Thymbra capitata*, *Origanum virens*, *Thymus zygis* subsp. *sylvestris*, and *Lippia graveolens* on trophozoites growth, viability, adherence, and ultrastructure. Parasitol. Res. 106:1205-1215.
- Martínez** D. P. M. 2012. Clasificación y evaluación del orégano *Lippia graveolens* HBK, en base al rendimiento de aceites esenciales en la región norte de Jalisco. Sociedad Científica del Orégano. *On line* (consultado marzo de 2015)  
<http://sociedadcientificadeloreganoac.blogspot.mx/2012/02/investigacion-del-oregano-1.html>
- Martínez** N. D. A, Parra T.V., Dzib G., and Calvo I. L. M. 2011. Morphology and density of glandular trichomes in populations of Mexican oregano (*Lippia graveolens* H.B.K., Verbenaceae), and the relationship between trichome density and climate. The Journal of the Torrey Botanical Society, 138(2).
- Moreno** P. E. del C., Sánchez C.F., González M.L.A., Pérez M.C. y Magaña L.N. 2010. Efectos del volumen de sustrato y niveles de N-P-K en el crecimiento de plántulas de pepino. Terra Latinoamericana 29: 57-63.
- Oropesa** K. , Pentón G. y Martín G. J. 2011. Effect of biological and/or mineral fertilization on mulberry (*Morus alba* L.) forage production. Pastos y Forrajes 34(3)
- Prieto** M. D. J. Orjuela V. E., Cárdenas T. L. F. 2005 Comparison of the efficiency of the organic fertilizers with regard to the chemical fertilizers in fertilization in the cultivation of balm-gentle (*Melissa officinalis*). Tecnogestión 2(1).
- Rocha** G. N. N. E., Gallegos I. J. A., González I. R. Ramos G.F. M., Rodríguez M. M. E., Reynoso C.R., Rocha U. A., and Roque R. M. R. 2007. Antioxidant effect of oregano (*Lippia berlandieri* v. Shauer) essential oil and mother liquors. Food Chem. 102: 330–335.
- SAS Institute Inc** .2002. Cary NC; USA. Proprietary Software version 9.0. (TS MO). Licensed to SUNY AT STONY BOOK.
- SEMARNAT**.2011. Paquete tecnológico para la producción de orégano (*Lippia spp.*)
- Silva** R.M., Jablonski A., Siewerdt L., Silveira J. P. 2000. Desenvolvimento das raízes do azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. Revista Brasileira de Zootecnia 29(6).
- Silva** V., R. 1999. El Orégano como una alternativa de producción agrícola sustentable para las zonas áridas y semiáridas. Folleto para productores No. 11. CIRENA- SEP- Fundación PRODUCE. Salaces, Chihuahua. México. 19 p.

**Tejeda** S.O., Trejo T.L. I., Arguello Q.M. y Téllez V. M. A. A. 2013. Fuentes fertilizantes orgánicas y minerales en *Laelia anceps* Lindl. subesp. *anceps* (Orchidaceae) en fase vegetativa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5.

**Turgut** D. N. and Silva, V. R. 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. Journal of Applied Horticulture, 7(1):20-22

**Wagner** H. y Bladt S. 1996. Plant drug analysis. Springer Verlag. Berlin.

## APÉNDICE 1

### PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS SUSTRATOS

**A-1.1** Análisis de varianza de las propiedades Físicas de los sustratos: peat moss, fibra de coco, vermicompost y tezontle

Variable	Suma de cuadrado	Coef. De variación	gl	Media cuadrática	F	Pr>F
Densidad real	4.66276667	12.75016	3	1.55425556	28.92	<.0001
Densidad aparente	3.45909167	17.74123	3	1.15303056	116.47	<.0001
Retención de humedad	1184.570492	6.314576	3	394.856831	31.24	<.0001
Porosidad de aireación	587.5132250	6.910887	3	195.8377417	85.40	<.0001

**A-1.2** Análisis de varianza de las propiedades Químicas de los sustratos peat moss, fibra de coco, vermicompost y tezontle

Variable	Suma de cuadrado	Coef de variación	gl	Media cuadrática	F	Pr>F
pH	32.50063333	3.360678	3	10.83354444	201.96	<.0001
Conductividad eléctrica	806.0745000	5.839341	3	268.6915000	3043.51	<.0001
CIC	13429.19673	11.38899	3	4476.39891	126.96	<.0001
Materia orgánica	10640.12263	3.447292	3	3546.70754	1553.38	<.0001

**A-1.3** Análisis de varianza del contenido nutrimental de los sustratos: peat moss, fibra de coco, vermicompost y tezontle.

Variable	Suma de cuadrado	Coef. De Variación	gl	Media cuadrática	F	Pr>F
N	7.8109375	104.2894	3	2.60364583	1.75	0.2959
P	36599495.05	9.683050	3	12199831.68	632.38	<.0001
K	54552338.69	14.56717	3	18184112.90	280.51	<.0001
Ca	138336075.4	11.63988	3	46112025.1	52.17	0.0012
Mg	63759740.26	6.629296	3	21253246.75	291.15	<.0001
S	9882580.862	8.648690	3	3294193.621	297.11	<.0001
Fe	78821852.15	26.30673	3	26273950.72	27.33	0.0040
Cu	490.3457254	8.474749	3	163.4485751	362.36	<.0001
B	22173.32007	214.7205	3	7391.10669	0.97	0.4901
Mn	91072.92487	13.04088	3	30357.64162	169.57	0.0001
Zn	10961.13436	26.95581	3	3653.71145	86.14	0.0004
Na	9988490.378	11.07845	3	3329496.793	182.94	<.0001

**A-1.4** Análisis de varianza por fecha de muestreo de las variables de crecimiento de orégano desarrolladas en almácigos con sustratos peat moss, fibra de coco y tezontle

<b>Variable</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Coef. De Variación</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>Longitud parte aérea</b>	421.3886667	50.61952	3	140.4628889	25.43	<.0001
<b>Longitud de Raíz</b>	19.71425000	45.06389	3	6.57141667	0.79	0.5035
<b>Volumen de Raíz</b>	0.23456250	81.13300	3	0.07818750	7.26	0.0002
<b>Diámetro de Tallo</b>	3.98131333	24.17009	3	1.32710444	25.01	<.0001
<b>Área Foliar</b>	3613.509236	70.22784	3	1204.503079	29.21	<.0001
<b>Peso Seco de Hoja</b>	0.05015724	76.58492	3	0.01671908	26.28	<.0001
<b>Peso Seco de Raíz</b>	0.00267846	104.7773	3	0.00089282	9.41	<.0001
<b>Peso Seco de Tallo</b>	0.00627731	83.17490	3	0.00209244	24.54	<.0001
<b>Peso Seco Total</b>	0.12546666	80.01733	3	0.04182222	22.97	<.0001

**A-1.5** Análisis de varianza de la variables de crecimiento en almácigos por Sustrato

<b>Variable</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Coef. De Variación</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>Longitud parte aérea</b>	426.8511667	50.18746	2	213.4255833	39.30	<.0001
<b>Longitud de Raíz</b>	396.3365000	35.07949	2	198.1682500	39.16	<.0001
<b>Volumen de Raíz</b>	0.77116667	61.01935	2	0.38558333	63.29	<.0001
<b>Diámetro de Tallo</b>	2.00763500	27.65755	2	1.00381750	14.45	<.0001
<b>Área Foliar</b>	2467.858035	77.85324	2	1233.929017	24.35	<.0001
<b>Peso Seco de Hoja</b>	3.03696578	82.79343	2	0.01848289	24.86	<.0001
<b>Peso Seco de Raíz</b>	0.00696206	81.53262	2	0.00348103	60.60	<.0001
<b>Peso Seco de Tallo</b>	0.00477231	88.89586	2	0.00238616	24.50	<.0001
<b>Peso Seco Total</b>	0.11450527	81.71572	2	0.05725264	30.15	<.0001

**A-1.6** Análisis de varianza de la interacción Días Después de la Siembra – Sustrato para las Variables de crecimiento de orégano en almácigos

<b>Variable</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Coef. De Variación</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>Longitud parte aérea</b>	944.0866667	22.52534	11	85.8260606	78.45	<.0001
<b>Longitud de Raíz</b>	527.8722500	32.20142	11	47.9883864	11.25	<.0001
<b>Volumen de Raíz</b>	1.15422917	43.19698	11	0.10492992	34.37	<.0001
<b>Diámetro de Tallo</b>	6.23226000	19.94946	11	0.56649609	15.67	<.0001
<b>Área Foliar</b>	6787.750272	42.20708	11	617.068207	41.44	<.0001
<b>Peso Seco de Hoja</b>	0.10032746	44.90270	11	0.00912068	41.71	<.0001
<b>Peso Seco de Raíz</b>	0.01146039	48.80046	11	0.00104185	50.63	<.0001
<b>Peso Seco de Tallo</b>	0.01321711	47.09126	11	0.00120156	43.96	<.0001
<b>Peso Seco Total</b>	0.27970152	43.07853	11	0.02542741	48.18	<.0001

**APÉNDICE 2**

**CRECIMIENTO EN INVERNADERO**

**A-2.1** Análisis de varianza de las variables de crecimiento en plantas de orégano desarrolladas en invernadero.

<b>Variable</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Coef. De Variación</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>Altura de planta</b>	1480.064963	62.97490	2	740.032481	28.77	<.0001
<b>Diámetro de Tallo</b>	23.30547852	39.10295	2	11.65273926	26.85	<.0001
<b>Número de hojas</b>	17442.82222	92.02752	2	8721.41111	11.97	<.0001
<b>Número de ramas</b>	279.5231854	139.7750	2	139.7615927	16.98	<.0001

**A-2.2** Análisis de varianza de la variables de crecimiento de orégano desarrollado en invernadero con riego orgánico e inorgánico

<b>Variable</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Coef. De Variación</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>Altura de planta</b>	2236.416296	59.74315	5	447.283259	19.32	<.0001
<b>Diámetro de Tallo</b>	53.72947852	33.76871	5	10.74589570	33.21	<.0001
<b>Número de hojas</b>	110717.6889	66.77669	5	22143.5378	57.71	<.0001
<b>Número de ramas</b>	1082.538081	111.9718	5	216.507616	41.00	<.0001
<b>Peso fresco de raíz</b>	129.1654779	104.1795	5	25.8330956	17.96	<.0001
<b>Peso seco de raíz</b>	2.13264591	88.17801	5	0.42652918	24.30	<.0001

**RENDIMIENTO DE ACEITES ESENCIALES**

**A-2.3** Análisis de varianza del rendimiento de Aceites Esenciales  $\alpha=0.05$

<b>Variable</b>	<b>Suma de cuadrado</b>	<b>Coef. De Variación</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
<b>Rendimiento de aceite esencial</b>	0.00058954	4.495468	4	0.00014739	231.74	<.0001