



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO EN BOTÁNICA

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE
LAVANDA (*Lavandula x intermedia* Emeric ex. Loisel. Var Grosso) Y
ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE SU ACEITE ESENCIAL**

LUZ ADELA GUERRERO LAGUNES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO

PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2014

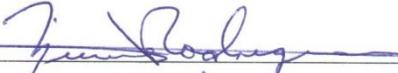
La presente tesis titulada: **Efecto de la fertilización en la producción de lavanda (*Lavandula x intermedia* Emeric ex. Loisel. Var Grosso) y actividad biológica de su aceite esencial**, realizada por la alumna: **Luz Adela Guerrero Lagunes**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

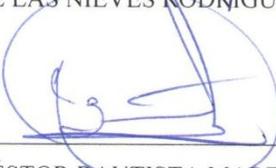
DOCTORA EN CIENCIAS
BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DRA. LUCERO DEL MAR RUIZ POSADAS

ASESOR: 
DR. MARCOS SOTO HERNÁNDEZ

ASESOR: 
DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASESOR: 
DR. NÉSTOR BAUTISTA MARTÍNEZ

ASESOR: 
DR. JUAN MANUEL GONZÁLEZ CAMACHO

Montecillo, Texcoco, México, 9 de julio de 2014

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LAVANDA
(*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso) Y ACTIVIDAD BIOLÓGICA
DE SU ACEITE ESENCIAL

Luz Adela Guerrero Lagunes, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

Resumen

Se evaluó el efecto de la fertilización en la producción de flor y aceite esencial de lavanda, así como la actividad biológica del aceite esencial e hidrolato contra *Pseudomonas* spp y mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*). En campo se establecieron los tratamientos con fertilización al suelo y foliar en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x3 con cuatro repeticiones. El aceite esencial obtenido de las inflorescencias se utilizó para los ensayos *in vitro* contra *Pseudomonas* spp y para los ensayos *in situ* contra mosca blanca se utilizó hidrolato obtenido de la destilación del follaje, ambos en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. La fertilización presentó efectos significativos en todas las variables evaluadas (altura de la planta, número de tallos, peso fresco y seco del follaje, número de hojas, área foliar, número y peso seco de inflorescencias). Con triple 17 y fitohormonas se presentaron los valores más altos de las variables y la producción de flor se incrementó 384 %, comparado con vermicomposta. No hubo diferencias estadísticas en los rendimientos de aceite esencial; excepto para los porcentajes de los componentes mayoritarios del aceite esencial, en hoja (alcanfor y borneol), en flores (linalol y acetato de linalilo). Se encontró actividad del aceite esencial en todas las concentraciones contra *Pseudomonas* spp y efecto de hidrolato al 50 % contra mosca blanca.

Palabras clave: Planta aromática, inflorescencia, biomoléculas, plaguicida vegetal.

FERTILIZATION EFFECTS ON LAVENDER PRODUCTION (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso) AND ESSENTIAL OIL BIOLOGICAL ACTIVITY

Luz Adela Guerrero Lagunes, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2014

Abstract

The effect of fertilization on the production of flower and lavender essential oil and biological activity and essential oil against *Pseudomonas* spp and hydrolate against whitefly (*Trialeurodes vaporariorum*) was evaluated. Field treatments were established with soil and foliar fertilization in an experimental design completely randomized 2x3 factorial arrangements with four replications. The essential oil from inflorescences was used for *in vitro* assays against *Pseudomonas* spp and *in situ* was used hydrolate against whitefly obtained from the distillation of the foliage, both experimental trials in a completely randomized design with four replications. Fertilization significant effect on all variables evaluated (plant height, number of stems, fresh and dry weight of leaves, number of leaves, leaf area, number and dry weight of inflorescences). Phytohormones with triple 17 gave the highest values of the variables and flower production increased by 384 %, compared with vermicompost presented. There were no statistical differences in the yields of essential oil; except for the percentages of the main components of the essential oil in leaf (camphor and borneol) in flowers (linalool and linalyl acetate). Biological activity of the essential oil was found at all concentrations against *Pseudomonas* spp and effect hydrolate 50 % against nymphs and adults of whitefly.

Keywords: Aromatic plant, inflorescence, biomolecules, vegetable pesticide.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento otorgado para realizar mis estudios de Posgrado.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Doctorado.

A la Dra. Lucero del Mar Ruiz Posadas por creer en este proyecto, por su apoyo y consejos.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza y a los Doctores Marcos Soto Hernández, Néstor Bautista Martínez y Juan Manuel González Camacho por sus consejos y sugerencias en la realización de este trabajo.

Al C. Lic. Manuel Cossío de la Garza y Rancho San Martín por brindarme el material vegetal y compartir su experiencia en el cultivo de lavanda.

A la Dra. María Antonieta Goytia Jiménez y a la M. en B. Jaqueline Sánchez Trujillo por su apoyo en el análisis cualitativo del aceite esencial.

Al personal de campo por brindarme el apoyo en las labores del cultivo.

A todas las personas que de manera directa o indirecta hicieron posible la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar hasta aquí.

A mis hijos Rebeca y Leo por su paciencia, amor y por ser mi motor.

A mi esposo por su apoyo incondicional para lograr esta meta.

A mis padres Franklin y Blanca, mi respeto y agradecimiento eterno.

A mi gran amiga Lucero por acompañarme, guiarme y no dejarme caer.

Al querido Dr. Edmundo García Moya, un ejemplo a seguir.

A todas las personas que me brindaron su amistad y consejos.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. Planteamiento del problema.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
3. Revisión de literatura.....	3
3.1. La lavanda.....	3
3.2. Usos.....	4
3.2.1. Ornamental.....	4
3.2.2. Industria de perfumes y cosméticos.....	4
3.2.3. Industria alimenticia.....	5
3.2.4. Productos de limpieza.....	6
3.2.5. Farmacéutica y productos veterinarios.....	6
3.2.6. Aromaterapia.....	7
3.2.7. Artesanías.....	7
3.2.8. Agroturismo.....	8
3.3. Importancia comercial.....	8
3.3.1. Producción y consumo de lavanda.....	8
3.3.2. Tendencia en el mercado.....	10
3.4. Requerimientos del cultivo.....	10
3.4.1. Especie y variedad.....	10
3.4.2. Condiciones ambientales.....	11
a. Altura.....	11
b. Temperatura.....	11
c. Luz.....	12
d. Precipitación pluvial y humedad relativa.....	12

3.4.3. Factores agronómicos.....	13
a. Suelo.....	13
b. Textura.....	13
c. Drenaje.....	13
d. pH.....	13
e. Riego.....	14
3.4.4. Requerimientos nutricionales.....	14
3.4.5. Propagación.....	15
a. Semilla.....	15
b. Estaca.....	15
3.4.6. Manejo del cultivo.....	16
a. Densidad de siembra.....	16
b. Plagas comunes y su control.....	16
c. Control de malezas.....	16
3.4.7. Cosecha.....	17
3.4.8. Postcosecha.....	18
a. Secado.....	18
b. Poda.....	18
3.5. Aceites esenciales.....	18
3.5.1. Extracción.....	19
a. Extracción asistida por microondas.....	19
b. Por arrastre con vapor de agua.....	19
3.5.2. Calidad de aceites esenciales.....	20
3.6. Actividad biológica del aceite esencial.....	22
3.6.1. Contra hongos y oomicetos.....	23
3.6.2. Contra insectos.....	23
3.6.3. Contra malezas.....	23
4. Bibliografía.....	24

CAPÍTULO I: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LAVANDA (<i>Lavandula x intermedia</i> Emeric ex Loisel. var. Grosso).....	32
Resumen.....	32
Abstract.....	33
1.1. Introducción.....	34
1.2. Materiales y métodos.....	36
1.2.1. Localización del experimento.....	36
1.2.2. Material vegetal y condiciones de crecimiento.....	36
1.2.3. Tratamiento y diseño experimental.....	37
1.2.4. Variables respuesta evaluadas.....	40
1.2.5. Análisis estadístico.....	40
1.3. Resultados y discusión.....	40
1.3.1. Crecimiento y desarrollo de follaje.....	40
1.3.2. Floración.....	46
1.3.3. Análisis nutrimental.....	50
1.4. Conclusiones.....	52
1.5. Bibliografía.....	52

CAPÍTULO II: EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA (<i>Lavandula x intermedia</i> Emeric ex Loisel. var. Grosso).....	57
Resumen.....	57
Abstract.....	58
2.1. Introducción.....	58
2.2. Materiales y métodos.....	60
2.2.1. Material vegetal.....	60

2.2.2. Caracterización cuantitativa.....	61
2.2.3. Caracterización cualitativa.....	61
2.2.4. Análisis estadístico.....	62
2.3. Resultados y discusión.....	62
2.3.1. Caracterización cuantitativa.....	62
2.3.2. Caracterización cualitativa.....	66
2.4. Conclusiones.....	72
2.5. Bibliografía.....	72

CAPÍTULO III: ACTIVIDAD BIOCIDA DEL ACEITE ESENCIAL E HIDROLATO DE LAVANDA (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso).....

77	77
Resumen.....	77
Abstract.....	78
3.1. Introducción.....	78
3.2. Materiales y métodos.....	81
3.2.1. Obtención de hidrolato y aceite esencial.....	81
3.2.2. Caracterización fitoquímica.....	82
3.2.3. Bioensayos <i>in vitro</i>	82
3.2.4. Bioensayos <i>in situ</i>	83
3.2.5. Análisis estadístico.....	84
3.2.6. Evaluación toxicidad del producto.....	84
3.3. Resultados y discusión.....	85
3.3.1. Caracterización fitoquímica del aceite esencial e hidrolato.....	85
3.3.2. Ensayos <i>in vitro</i>	87
3.3.3. Ensayos <i>in situ</i>	89
3.4. Conclusiones.....	93
3.5. Bibliografía.....	93

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES.....	99
1. Discusión general.....	99
2. Conclusiones generales.....	103
3. Bibliografía.....	104
ANEXOS.....	107
ANEXO 1. Análisis químico del suelo de Montecillo, vermicomposta y fitohormonas.....	107
ANEXO 2. Cromatogramas del aceite esencial de follaje: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas.....	108
ANEXO 3. Cromatogramas del aceite esencial de follaje: T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas.....	109
ANEXO 4. Cromatogramas del aceite esencial de las inflorescencias: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas.....	110
ANEXO 5. Cromatogramas del aceite esencial de las inflorescencias: T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas.....	111
ANEXO 6. Cromatogramas del hidrolato más aceite esencial de hoja de lavanda: 25 % (H25), 50 % (H50) y 100 % (H100).....	112
PUBLICACIONES GENERADAS DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.....	113
1. Artículo en proceso en revista Archives of Agronomy and Soil Science.....	113
2. Libro en 2012 ISBN: 978-607-715-069-5.....	114
3. Libro en 2013 ISBN: 978-607-715-171-5.....	115

LISTA DE CUADROS

INTRODUCCIÓN GENERAL

CUADRO 1. Cantidades de algunas variedades de lavanda usadas en la industria alimenticia (Lis-Balchin, 2002).....	5
CUADRO 2. Volumen de importaciones de aceite esencial de lavanda a Estados Unidos en 2010 (CBI, 2009).....	9
CUADRO 3. Componentes del aceite esencial de lavandin (ISO CD/8902, 2007).....	22

CAPÍTULO I

CUADRO 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas presentes en la zona y años en que se estableció el cultivo de lavanda (Colegio de Postgraduados, 2013).....	36
CUADRO 2. Factores y tratamientos de fertilización correspondientes para plantas de lavanda.....	38
CUADRO 3. Valores del nivel de significancia <i>P</i> del análisis de varianza para variables de crecimiento y desarrollo de follaje de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2011.....	42
CUADRO 4. Crecimiento y desarrollo de follaje del primer año de producción (2011) de plantas de lavanda cultivadas con diferentes esquemas de fertilización.....	42
CUADRO 5. Valores del nivel de significancia <i>P</i> del análisis de varianza para variables de crecimiento y desarrollo de follaje de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2012.....	43
CUADRO 6. Crecimiento y desarrollo de follaje del segundo año de producción (2012) de plantas de lavanda cultivadas con diferentes esquemas de fertilización.....	45

CUADRO 7. Valores del nivel de significancia <i>P</i> del análisis de varianza para número de inflorescencias y peso seco de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2012.....	47
CUADRO 8. Valores del nivel de significancia <i>P</i> del análisis de varianza para macro y micronutrientes presentes en el follaje de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2012.....	51
CUADRO 9. Análisis nutrimental hojas de lavanda cultivada bajo diferentes esquemas de fertilización.....	51

CAPÍTULO II

CUADRO 1. Valor de <i>P</i> del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial en plantas de lavanda, cosecha 2011.....	62
CUADRO 2. Valor de <i>P</i> del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial en plantas de lavanda, cosecha 2012.....	63
CUADRO 3. Componentes del aceite esencial de las inflorescencias de lavanda cultivada con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5), triple 17 más fitohormonas (T6), no identificado (ni).....	68
CUADRO 4. Componentes del aceite esencial del follaje de lavanda cultivada con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5), triple 17 más fitohormonas (T6), no identificado (ni).....	70

CAPÍTULO III

CUADRO 1. Escala de puntuación EWRS para evaluar el efecto fitotóxico de	
--	--

aceites esenciales lavanda.....	85
CUADRO 2. Porcentajes de los compuestos mayoritarios del aceite esencial de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T4), triple 17 más fitohormonas (T6).....	86
CUADRO 3. Porcentaje de compuestos en hidrolato de follaje de lavanda.....	87
CUADRO 4. Zona de inhibición, expresado en mm, sobre el crecimiento de <i>Pseudomonas</i> spp del aceite esencial de inflorescencias de lavanda con diferentes esquemas de fertilización.....	88
CUADRO 5. Ninfas vivas de mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , Westwood) en el muestreo previo (Día 1) y los posteriores a los 7 y 15 días.....	91
CUADRO 6. Adultos vivos de mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> , Westwood) en el muestreo previo (Día 1) y los posteriores a los 7 y 15 días.....	91
CUADRO 7. Porcentaje eficacia Abbot (1925) de los tratamientos aplicados sobre las ninfas y adultos vivos.....	92

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1. Plantas de lavanda recién trasplantadas en campo, agosto 2010.....	37
FIGURA 2. Distribución de parcelas en campo: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas, T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas. R1, repetición 1; R2 repetición 2; R3, repetición 3; R4, repetición 4.....	39
FIGURA 3. Plantas de lavanda establecidas en campo: a) primer año del cultivo; b) segundo año del cultivo.....	41
FIGURA 4. Gráficas BoxPlot para las variables de crecimiento y desarrollo de follaje de plantas de lavanda. a: altura de la planta (AP); b: número de tallo (NT); c: peso fresco de follaje (PFF); d: peso seco de follaje (PSF); e: número de hojas (NH); f: área foliar (AF). Tratamientos (TRAT): 1, vermicomposta; 2, vermicomposta más ácidos húmicos; 3, vermicomposta más fitohormonas; 4, triple 17; 5, triple 17 más ácidos húmicos; 6, triple 17 más fitohormonas.....	44
FIGURA 5. Número de tallos florales de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) ± error estándar. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).....	48
FIGURA 6. Floración de plantas de lavanda: a) primer cosecha 2011; b) segunda cosecha 2012.....	48
FIGURA 7. Producción de tallos florales de plantas de lavanda a dos de establecido el cultivo, fertilizadas con vermicomposta (a) y triple 17 más fitohormonas (b).....	49

CAPÍTULO II

FIGURA 1. Rendimiento de aceite esencial en 1 g de follaje seco de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) ± error estándar. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).....	64
FIGURA 2. Rendimiento de aceite esencial en 1 g de flor seca de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) ± error estándar. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).....	65
FIGURA 3. Cromatogramas del aceite esencial de flor (a) y hoja (b) de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1); vermicomposta más ácidos húmicos (T2); vermicomposta más fitohormonas (T3); triple 17 (T4); triple 17 más ácidos húmicos (T5); triple 17 más fitohormonas (T6). Cosecha 2012.....	67

CAPÍTULO III

FIGURA 1. Ensayo en invernadero de hidrolato de lavanda contra mosca blanca en un cultivo de jitomate.....	84
FIGURA 2. Efecto del aceite esencial de lavanda sobre el crecimiento de <i>Pseudomonas</i> spp.....	89
FIGURA 3. Infestación de adultos y ninfas de mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>) en plantas de jitomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).....	90

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Planteamiento del problema

La lavanda pertenece al género *Lavandula* de la familia Lamiaceae, es una planta aromática de origen mediterráneo que se cultiva principalmente por su aceite esencial, aunque la producción de flor, el agroturismo y la elaboración de subproductos también son actividades importantes derivadas de este cultivo. El aceite esencial es demandado fuertemente por la industria, en mayor medida la del perfume y cosmética, en menor grado por la alimenticia, farmacéutica, limpieza y aromaterapia; en esta última, el aceite esencial de lavanda es de los más cotizados y recomendados por tratar un amplio rango de dolencias (Kubota *et al.*, 2010).

Los países europeos son los más antiguos y principales productores de lavanda y aceite esencial, encabeza la lista Francia y España, le siguen de cerca Estados Unidos, Chile y Argentina, países en los que el cultivo se expande cada día más (Market News Service, 2011). En México su cultivo apenas inicia, Puebla destaca como productor pionero (SEDAGRO, 2002), también se encuentran cultivos de poca extensión en Guanajuato e Hidalgo. Tres son las especies más cultivadas, entre las que destaca el híbrido *Lavandula x intermedia* var. Grosso por la gran producción de inflorescencias y los altos rendimientos de aceite esencial (Bombarda *et al.*, 2008).

En las flores agrupadas en espigas florales, es donde más se acumula el aceite esencial; por esta razón el objetivo principal del cultivo de lavanda es obtener alta producción de inflorescencias que aseguren altos rendimientos de aceite esencial, esto puede alcanzarse con el manejo

adecuado de los factores de crecimiento y desarrollo de la especie, como son los genéticos, ambientales y agronómicos, además del manejo en cosecha y postcosecha. Dentro de los factores agronómicos se ha demostrado que la fertilización es determinante para incrementar el rendimiento de flores (Curtis, 2006; Arabaci *et al.*, 2007) y en especies aromáticas de la misma familia ha incrementado también los rendimientos de aceite esencial; se han demostrado múltiples propiedades entre las que destacan la actividad microbicida, fungicida e insecticida, que representa una ventana de oportunidad para su aplicación contra plagas o enfermedades de cultivos agrícolas (Basso *et al.*, 1998; Jeliazkova *et al.*, 1999; Nikolova *et al.*, 1999; Sifola y Barbierie, 2006; Carrubba y Ascolillo, 2009).

Bajo esta perspectiva se plantea la presente investigación dividida en tres capítulos: El primero enfocado a la producción de lavanda en campo en el Estado de México, bajo diferentes esquemas de fertilización al suelo y/o foliares, y con condiciones edafoclimáticas diferentes a las recomendadas en la literatura; se evaluó el crecimiento y producción de las plantas durante dos años. En el segundo se analiza la cantidad del aceite esencial obtenido de las plantas establecidas en cada sistema de producción, así como los compuestos presentes y sus porcentajes para determinar la calidad del aceite. En el tercero, se determina la actividad biológica del aceite esencial contra algunas plagas y enfermedades que atacan jitomate. La finalidad de la investigación es proponer un esquema de fertilización adecuado a la zona, que incremente el número de inflorescencias y el rendimiento de aceite esencial con la calidad requerida por la industria, y proponer la generación de un plaguicida a partir de éste aceite esencial para el manejo fitosanitario de mosca blanca y *Pseudomonas* spp en jitomate, cómo alternativa de bajo impacto ambiental.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar la producción de lavanda con base en seis esquemas de fertilización, así como el rendimiento y actividad biológica de su aceite esencial.

2.2. Objetivos particulares

1. Evaluar la producción de lavanda cultivada bajo seis esquemas de fertilización en campo (tres orgánicas y tres inorgánicas).
2. Identificar las diferencias cuantitativas y cualitativas con respecto a los esquemas de fertilización propuestos.
3. Determinar la actividad biológica del hidrolato y aceite esencial de lavanda como plaguicidas vegetales.

3. Revisión de literatura

3.1. La lavanda

El género *Lavandula* pertenece a la familia Lamiaceae, el cultivar Grosso comúnmente conocido como lavandin es un híbrido obtenido de *L. angustifolia* y *L. latifolia* es la variedad más común para producción de aceite (Bombarda *et al.*, 2008). Son arbustos de tallos leñosos que alcanzan 150 cm de altura, con hojas simples lanceoladas de color verde-grisáceo y con pilosidad. Los tallos bifurcados de las inflorescencias son pequeños generalmente. Las brácteas fértiles son ovaladas o romboides, varían en forma y tamaño. El cáliz tiene 13 nervaduras con un apéndice elíptico. Corola bilateral simétrica de color lila o púrpura. Las inflorescencias alcanzan 75 cm de largo, las flores son pequeñas de color violeta. Florece entre junio y julio (Upson, 2002).

3.2. Usos

El uso de esta especie se remonta a los antiguos romanos, quienes usaban la planta como desinfectante, antiséptica y relajante en sus baños. Tanto por su aroma, como por su poder medicinal ha sido utilizada por siglos de diferentes formas: el aceite esencial era un componente principal en la preparación del perfume utilizado por el Rey Jorge IV; mezclado con agua y vinagre sirvió como base de los primeros perfumes comerciales; en forma de tintura para tratar desmayos e indigestión; popular como desinfectante en heridas durante la Primera Guerra Mundial y además, formaba parte de la llamada “lavanda roja”, un vino con romero, canela (Castle y Lis-Balchin, 2002). Actualmente la demanda de esta especie ha crecido considerablemente debido a la versatilidad en su uso y a las propiedades que se le han descubierto. Actualmente la especie y sus productos tienen los siguientes usos:

3.2.1. Ornamental

Por su colorido, fragancia y resistencia a condiciones adversas de frío, sequía y pobreza de suelos, las especies de lavanda se han convertido en un producto decorativo en toda clase de jardines. Actualmente en México se pueden observar decorando jardines de centros comerciales, embelleciendo el Paseo de la Alameda en la ciudad de México, en el parque central de la Ciudad de Irapuato, Guanajuato (Guerrero y Ruiz, 2012).

3.2.2. Industria de perfume y cosméticos

En la manufactura de cosméticos el uso de derivados de plantas aromáticas como son los aceites esenciales, oleorresinas y extractos, es cada vez más común por ser de origen natural, por sus propiedades aromatizantes, desinfectantes y antioxidantes (Lubbe y Verpoorte, 2011). En esta

industria el aceite esencial de lavandin se utiliza en grandes cantidades, ya que agrega un toque fresco y floral a lociones, productos de baño, jabones, colonias, aguas de tocador, perfumes, talcos, cremas, cosméticos, etc. Uno de sus principales componentes, linalol, es un ingrediente muy utilizado en perfumería y es un intermediario en la manufactura de vitamina E (Bauer *et al.*, 1990; Lapczynski 2008).

3.2.3. Industria alimenticia

Desde principios de la historia del hombre, la gente usaba plantas y especias para condimentar o modificar el sabor de alimentos, los primeros materiales utilizados como saborizantes incluían extractos, tinturas, oleorresinas, concentrados de jugos y aceites esenciales. Con el desarrollo de nuevas tendencias de cocina y el surgimiento recetas cada vez más innovadoras en sabor y apariencia, algunas variedades de lavanda incursionan rápidamente en la creación de nuevos sabores (Guerrero y Ruiz, 2012).

CUADRO 1. Cantidades de algunas variedades de lavanda usadas en la industria alimenticia (Lis-Balchin, 2002).

Alimento	Absoluto	Aceite	Lavandin	Spike
	(ppm)	esencial		
Repostería	23.00	11.37	16.78	43.50
Lácteos congelados	18.00	9.21	12.83	35.61
Dulces	19.42	10.37	14.13	35.15
Gelatinas, postres	15.71	7.67	10.24	35.00
Bebidas no alcohólicas	6.97	4.21	5.56	12.02
Bebidas alcohólicas	8.00	4.31	5.56	12.15

Actualmente se ha desarrollado toda una industria en este rubro, el uso de ésta especie en la industria alimenticia crece cada día más, ya que además de realzar el sabor, puede enmascarar, conservar o nutrir. Se utilizan principalmente en la elaboración de repostería, lácteos congelados, dulces, gelatinas, postres, bebidas alcohólicas y no alcohólicas (Cuadro 1) (Lis-Balchin, 2002).

3.2.4. Productos de limpieza

Ante los daños ambientales que producen algunos químicos sintéticos usados en la elaboración de detergentes, aromatizantes y limpiadores, se han buscado alternativas menos tóxicas con el ambiente. Por su origen natural, aroma floral, sus propiedades desinfectantes y repelentes, el aceite esencial de lavanda ha venido a ser un buen sustituto de los compuestos químicos sintéticos usados originalmente. En esta industria los hidrolatos, producto de desecho del proceso de destilación, se pueden utilizar en la fabricación de productos para limpiar el piso, baños, cristales, cocina, desengrasantes, aromatizantes, detergentes, etc. (Guerrero y Ruiz, 2013).

3.2.6. Farmacéutica y productos veterinarios

Gracias a los avances de las técnicas analíticas y experimentales, hoy se conoce la composición química de la mayoría de las especies vegetales, la estructura y concentración de los principios activos y su actividad farmacológica. Además diferentes centros de investigación, en colaboración con laboratorios farmacéuticos y empresas del ámbito alimentario, han desarrollado ensayos clínicos rigurosos e intervenciones nutricionales con objeto de verificar su eficacia y seguridad. Se ha demostrado la actividad biológica de lavanda contra *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Estafilococos*, *Shigela* y *Giardas* (Hüsnü y Buchbauer, 2009).

Por otro lado, estas propiedades se han aprovechado también en la elaboración de productos veterinarios, donde la lavanda se utiliza como repelente contra mosquitos, pulgas, garrapatas y piojos en caballos, vaca, borregos, conejos y aves; ya sea en forma de aceite esencial, jabón, crema o tintura (Hösnö y Buchbauer, 2009).

3.2.7. Aromaterapia

Esta terapia alternativa, produce efectos terapéuticos debido a los efectos fisiológicos al inhalar compuestos volátiles de aceites esenciales. El aceite esencial de lavanda es uno de los más recomendados para tratar un amplio número de dolencias, incluyendo estrés, ansiedad, depresión, fatiga e hipertensión (Curtis, 2006). Se cree que el aceite esencial actúa la amígdala e hipocampo (Cavanagh y Wilkinson, 2002). Se ha demostrado que linalol y acetato de linalilo, los dos componentes principales de lavanda, son rápidamente absorbidos por la piel y actúan en el sistema nervioso central (Jager *et al.*, 1992); además, el primero puede actuar como sedativo y el segundo como narcótico. Por otro lado, los altos contenidos de alcanfor de algunas especies de lavanda pueden provocar convulsiones (Tisserand, 1998; Tisserand y Balacs, 1999).

3.2.8. Artesanías

Elaborar artesanías a partir de plantas aromáticas se está volviendo una actividad complementaria a la de producción y transformación primaria. En algunos casos, se utiliza para estos subproductos secundarios material de desecho que la creatividad transforma en elementos útiles, decorativos y únicos: cestería, joyería, arreglos florales, almohadillas, cojines, muñecos, velas, maracas, coronas y envases son algunos ejemplos de las piezas artesanales que se encuentran en el mercado (Guerrero y Ruiz, 2013).

3.2.9. Agroturismo

Alrededor de los campos de lavanda, en temporada de floración, se ha desarrollado una industria turística; debido al colorido de los campos, al aroma y la enorme cantidad de artículos que se elaboran a partir de esta aromática (Curtis, 2006). Por lo tanto, ésta es una actividad complementaria que puede ser explotada con mucho éxito en un campo de lavanda. Dentro de las actividades a realizar para los visitantes se encuentran: recorrido por los cultivos, venta de plántulas, de aceite esencial, de subproductos y artesanías, talleres demostrativos de elaboración de productos, muestras gastronómicas a base de lavanda, venta de comida, etc. (Guerrero y Ruiz, 2012).

3.3. Importancia comercial

3.3.1. Producción y consumo de lavanda

En Europa se concentra la mayor producción y exportación de lavanda, tanto de flor, aceite y extractos; destacan Francia, España y Bulgaria. Fuera de Europa se ha expandido a Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Chile y China (Curtis, 2006 y Market News Service, 2011).

El crecimiento del cultivo de lavanda en el mundo es un indicador de la importancia que ha adquirido la especie y uno de los mercados de mayor crecimiento es el del aceite esencial. Los países europeos han sido los mayores productores de aceites esenciales, debido a la larga trayectoria en producción de perfumes; actualmente los Estados Unidos y países desarrollados empiezan a dominar la producción de los más importantes aceites esenciales. Los países de la Unión Europea como Francia e Italia juegan un rol importante por los altos rendimientos de

aceite obtenidos de plantas cuyo cultivo, cosecha y procesado está siendo completamente mecanizado, haciendo la producción competitiva contra países donde los costos son menores (CBI Market Information Database, 2009).

Los principales consumidores de la esencia de lavanda son Estados Unidos (400 a 450 ton) y La Unión Europea (50 ton), en menor medida China y Australia. El principal proveedor para Estados Unidos es Francia (Cuadro 2). Estimaciones para el 2008, reportan que la producción total de los 20 aceites esenciales más utilizados fue de 104 mil ton, lavandin ocupó el 10º lugar con 1,300 ton (CBI Market Information Database, 2009).

CUADRO 2. Volumen de importaciones de aceite esencial de lavanda a Estados Unidos en 2010 (CBI, 2009).

País	Dólares americanos	Toneladas
Francia	10,106	385
Austria	2,026	24
Bulgaria	1,210	12
España	366	7
China	308	7
Alemania	209	3
Reino Unido	153	3
Australia	115	3
Otros	335	5

Aunque el kilogramo de aceite esencial de lavanda alcanza un mayor precio (80-120 euros), que el de lavandin (35-45 euros) (Market News Service, 2011); este último produce más aceite por

unidad de área. Por esta razón el cultivo de lavandin crece cada día más (Cavanagh y Wilkinson, 2002).

3.3.2. Tendencia en el mercado

Actualmente cerca de 90% de la producción global de aceites esenciales se utiliza en la industria del perfume y fragancia; la mayoría en forma de cosméticos, perfumes, bebidas y alimentos (Holmes, 2005). La tendencia parece continuar debido a la necesidad de manufacturar y consumir productos con ingredientes naturales y propiedades nutraceuticas; tanto cosméticos, como fragancias y sabores. Por lo tanto, se prevé que el futuro de los aceites esenciales continúe ascendiendo a más de 5% anualmente (CBI Market Information Database, 2009). Cabe destacar, que también existe una necesidad creciente para aceites esenciales orgánicos y con certificaciones que garanticen la calidad y trazabilidad del producto.

3.4. Requerimientos del cultivo

Ante la necesidad de asegurar un constante suministro de esta aromática, que además cumpla los estándares de calidad requeridos; las técnicas de producción deben incluir el manejo agronómico adecuado, que incluya programas de fertilización, manejo fitosanitario de plagas y enfermedades, manejo cosecha y postcosecha; considerando factores ambientales, climáticos adecuados para la especie y sobre todo elegir el genotipo adecuado.

3.4.1. Especie y variedad

La selección de estas plantas y la mejora de su cultivo es más compleja que la practicada para otros vegetales; ya que no solamente se persigue obtener un buen porte y desarrollo, que sean

resistente a condiciones climáticas y edáficas adversas, a plagas y enfermedades, sino que produzcan un elevado rendimiento de aceite esencial de buena calidad (Muñoz, 2002).

Se han generado muchas especies y variedades en lavanda, cuyos híbridos han sido desarrollados con la finalidad de que produzca mayor cantidad de aceite y que éste sea de alta calidad y rico en determinado compuesto (Basso *et al.*, 1998). Tal es el caso de lavandin, cuya concentración de aceite esencial es superior a sus progenitores. Además, es una variedad que resiste heladas, bajos aportes nutrimentales y de agua.

3.4.2. Condiciones ambientales

Esta es una especie originaria de las regiones mediterráneas, consecuentemente se desarrolla mejor en condiciones similares de clima. Sin embargo, se ha demostrado que se puede adaptar y desarrollar en ambientes diferentes al de su lugar de origen.

a. Altura

Crece principalmente en zonas bajas desde los 0 hasta 1400 o incluso a 2300 msnm (Fanlo *et al.*, 2009), aunque está documentado por Muñoz en 2002, que su desarrollo óptimo ocurre entre los 600 y 1200 msnm.

b. Temperatura

La lavanda requiere veranos largos y cálidos, el calor extremo o inviernos cálidos disminuye el rendimiento y la calidad de las plantas (Curtis, 2006), esto se debe principalmente a la volatilización de los aceites esenciales, provocado por las altas temperaturas que ocasiona

variaciones en el porcentaje del mismo y sus componentes (Acosta, 2003). Además, es una planta que requiere de vernalización, esto significa que necesita un período de baja temperatura durante el invierno, para inducir y promover una buena floración (Kubota *et al.*, 2010), durante esta etapa la planta entra en dormancia (para su crecimiento). No todas las especies y variedades de lavanda soportan bajas temperaturas, las heladas tempranas o tardías, principalmente durante el primer año de plantación pueden provocar pérdidas importantes (López *et al.*, 1997); las variedades de lavandin (*Lavandula x intermedia*) son resistentes a bajas temperaturas, incluso a la nieve.

c. Luz

En general las plantas aromáticas tienen gran necesidad de luz (Muñoz, 2002) y lavanda no es la excepción, requiere pleno sol para crecer. Cultivos establecidos en áreas bajo sombra total o parcial tienen un crecimiento lento, con baja producción de flores.

d. Precipitación pluvial y humedad relativa

Los requerimientos hídricos de esta especie son bajos (300 mm al año); es también considerada una planta tolerante a la sequía y crece mejor en zonas secas (López *et al.*, 1997). En zonas con precipitaciones altas es mejor sembrarla con mayor porcentaje de arena, para evitar anegaciones que causan asfixia radicular en esta especie. Si existen en la zona altas precipitaciones o elevada humedad relativa, debe aumentarse el espacio entre las plantas (más de 0.75 m) para generar una mayor circulación de aire y evitar enfermedades fúngicas. En zonas con rocío matinal abundante durante la cosecha se reduce hasta 25% la producción (López *et al.*, 1997; Curtis, 2006).

3.4.3. Factores agronómicos

a. Suelo

Se adapta a una gran cantidad de suelos, sin embargo aquellos con buen drenaje y texturas medias son los que permiten a las plantas expresar su potencial de rendimiento (Muñoz, 2002; Curtis, 2006).

b. Textura

En suelos donde la arcilla no sobrepasa 25% y la arena representa al menos 50%, se alcanzan muy buenos rendimientos. Suelos calizos y pedregosos, ricos en carbonatos de calcio permiten optimizar los rendimientos del aceite esencial (Muñoz, 2002).

c. Drenaje

Requiere suelos bien drenados, ya que es susceptible a la asfixia radicular en suelos que se anegan. No crece bien en suelos que se saturan rápidamente, en este caso es recomendable instalar un sistema de drenaje o colocar las plantas en la parte superior de un surco o camas para proporcionar drenaje a la zona de las raíces (Muñoz, 2002; Curtis, 2006)

d. pH

La mayoría de macro y micronutrientes se absorben en un rango de pH entre 5.5 y 6.5; aunque existen reportes de lavanda toleran rangos más altos. Muñoz en 2002, menciona que esta especie se desarrolla bien entre 5.5 y 8.0. Mientras que Curtis en 2006 sugiere que el pH ideal de esta aromática está entre 7.5 y 8.5. No obstante se considera a la lavanda como una planta que se adapta a pH superiores a 8, se recomienda no pasar este rango, ya que pueden presentarse

deficiencias principalmente de micronutrientes que ocasionan reducción en la calidad de los aceites esenciales.

e. Riego

Aunque es considerada una planta tolerante a la sequía, es indispensable cubrir las necesidades hídricas de la especie para su óptimo. Se ha demostrado que la calidad y rendimiento mejora con programas de irrigación una vez por semana, el estrés por sequía puede reducir la longitud del tallo, el número de inflorescencias y el número de flores, resultando en reducción del rendimiento de aceite esencial (Fanlo *et al.*, 2009).

Es necesario regar plantas jóvenes, particularmente en días calurosos, secos y con viento. Aunque las plantas maduras, son más hábiles de soportar largos periodos secos, también debe implementarse un sistema de riego, este no debe ser pesado y el promedio de irrigación necesario depende de factores como la lluvia, tipo de suelo, condiciones del viento y etapa de crecimiento del cultivo. No se recomienda el riego por aspersión, ya que puede disminuir la concentración de aceite esencial y además provocar la aparición de enfermedades fungosas en el follaje, el mejor tipo de riego para esta especie es por goteo (Curtis, 2006; Fanlo *et al.*, 2009).

3.4.4. Requerimientos nutricionales

Se considera que la lavanda requiere bajos niveles de fertilidad del suelo; sin embargo, las plantaciones pueden beneficiarse con una aplicación extra de nitrógeno para propiciar un rápido crecimiento vegetativo. Se ha demostrado que el aporte de fertilizante nitrogenado incrementa significativamente el contenido de aceite esencial (Arabaci *et al.*, 2007 y Biesiada *et al.*, 2008);

no obstante esta aplicación no debe exceder los 100 kg ha⁻¹ debido a que disminuye la calidad y rendimientos. En el caso de fertilización orgánica, solo existe una recomendación en la literatura de aplicar harina de hueso o cal (Curtis, 2006), sin datos exactos en cuanto a cantidades y rendimientos obtenidos.

3.4.5. Propagación

La propagación de lavanda puede realizarse por semilla, estacas, injertos o cultivo *in vitro*, aunque las dos últimas poco se utilizan.

a. Semilla

La mayoría de cultivares de lavanda pueden ser propagadas por semilla. Sin embargo, no se recomienda ya que, en general, las semillas tienen mala germinación, además de la carencia de uniformidad en apariencia, fragancia y calidad de las plantas obtenidas (Muñoz 2002; Curtis 2006). Sin embargo, cuando las semillas son tratadas con ácido giberélico el porcentaje de germinación puede ser hasta de 85% (Cabot y Fanlo, 2007).

b. Estaca

Es la forma más común de propagar lavanda. Con el resultado de obtener plantas idénticas a la planta madre, en crecimiento y calidad. Se pueden usar tanto estacas semileñosas como leñosas. En ambos casos deben seleccionarse plantas madre maduras y saludables. Las estacas pueden ser cortadas en primavera o en otoño, de tallos jóvenes preferentemente. Tardan aproximadamente 12 semanas en enraizar (Curtis, 2006).

3.4.6. Manejo del cultivo

a. Densidad de siembra

La densidad de plantación juega un rol importante en términos de cantidad y calidad (Basso *et al.*, 1998). Por lo general el espaciado entre filas es de 1.5 a 2.0 m y entre plantas de 0.5 a 1 m, debido principalmente al porte que alcanzan las plantas en su madurez, ya que pueden crecer hasta 1.5 m de diámetro (Curtis, 2006). Esta distancia recomendada, permite una mayor circulación de aire entre las plantas, además del espacio suficiente para que se pueda realizar la cosecha ya sea manualmente o con máquina.

b. Plagas comunes y su control

Esta es una especie que tiene pocos problemas de enfermedades y plagas. Puede ser atacada por salivazo (Cercopidae) sin causar daños grave. La presencia de áfidos no causa daño, pero si es el vector del virus del mosaico de la alfalfa (VMA), que aunque rara vez mata las plantas, si reduce la producción; si aparecen daños por este virus se recomienda quitar las plantas y quemarlas. Los mayores daños que se presentan en lavanda son los causados por suelos con pobre drenaje, lo que causa mucha humedad en la zona de las raíces durante períodos húmedos e infectar las raíces por *Phytophthora* provocando la muerte; las plantas enfermas deben removerse desde las raíces y aplicar un fungicida (Curtis, 2006).

c. Control de malezas

Es importante mantener el cultivo de lavanda libre de malezas, porque estas son competencia por los nutrientes del suelo, agua y pueden ser portadores de enfermedades; además de dificultar la entrada al campo para fertilizar o cosechar y estéticamente resta belleza al cultivo. El control o la

erradicación de las malezas es una de las actividades más tediosas de realizar; ya que son muy persistentes, sobre todo en temporada de lluvias. Se pueden utilizar cubiertas plásticas para evitar la proliferación de malezas, aunque implica elevar el costo de inversión; la utilización de herbicidas no es recomendable porque puede afectar la calidad del aceite esencial (Curtis, 2006); la mejor forma de controlar las malezas es manualmente o mecánicamente si existe el espacio suficiente entre las hileras para el paso del tractor.

3.4.7. Cosecha

La recolección de las espigas florales de lavanda se hace en plena floración, cuando la mayoría de las plantas tienen la mitad de las flores abiertas. Cosechas tardías disminuyen el rendimiento de aceite. La floración para esta especie ha sido reportada entre los meses de julio y septiembre, dependiendo de la altitud de la zona donde esté establecido el cultivo; por otro lado, el primer año de cultivo se recomienda no cosechar por los rendimientos bajos de aceite esencial (Fanlo *et al.*, 2009). La lavanda no debe ser cosechada mecánicamente porque disminuye la cantidad de aceite esencial (Basso *et al.*, 1998).

Otro factor a tomar en cuenta para la cosecha de las espigas florales, es la hora del día en que se realiza la colecta. Con la finalidad de que las flores tengan la mayor concentración de aceite al momento de la cosecha, se recomienda que esta se realice muy temprano por la mañana o muy tarde, evitando así que el calor del día volatilice algunos compuestos (Hassiotis *et al.*, 2010). Debe considerarse también, que no llueva y no corra viento, para evitar la pérdida de aceite esencial.

3.4.8. Postcosecha

a. Secado

Los componentes químicos de los aceites esenciales son compuestos volátiles que pueden verse afectados en el proceso de secado. Temperaturas superiores a 35°C no son recomendables, debido a que se evaporan algunos componentes y se altera la esencia (Baydar y Erbas 2009). Los atados de espigas florales, pueden secarse colgados a la sombra, en lugares cerrados, con ventilación y que no sobrepase la temperatura máxima recomendada, o en estufa de recirculación reduciendo el tiempo de secado, pero incrementando el costo.

b. Poda

Posterior a la cosecha es necesario realizar la poda de las plantas, con la finalidad de mantener propicio el crecimiento de nuevos tallos que favorecerán la aparición de follaje y aumentará la productividad de las espigas florales. Si no se realiza el podado las plantas no desarrollarán más tallos, solo se elongarán los existentes, disminuyendo el número de inflorescencias (Curtis, 2006).

3.5. Aceites esenciales

Los aceites esenciales están formados por una mezcla compleja de compuestos aromáticos orgánicos producto del metabolismo secundario, altamente volátiles, con características específicas de olor y sabor. Sus componentes mayoritarios son terpenoides, aunque también contienen fenilpropanoides, muchos de los constituyentes pueden presentarse solo en pequeñas proporciones, pero forman parte del aroma y características del aceite (Sangwan *et al.*, 2001).

Se pueden encontrar en todos los órganos vegetales, su composición y concentración puede variar en función del órgano donde se localice, de la etapa fenológica, clima, fertilización, especie y variedad. En lavanda, se almacenan en tricomas glandulares distribuidos en las partes aéreas de la planta, especialmente en las flores (Sundria *et al.*, 1999).

3.5.1. Extracción

Otro de los factores que influyen en la composición del aceite esencial es el proceso de destilación y aunque existen numerosas técnicas para su extracción, en lavanda las más utilizadas son:

a. Extracción asistida por microondas

La combinación de energía de microondas y destilación seca usada en la extracción de compuestos volátiles, es una reciente técnica donde no se usa ningún solvente o agua, se puede adicionar algún medio sólido como los polvos carbonilos para que la muestra absorba las ondas, se reduce el tiempo de destilación sin afectar los rendimientos (Wang *et al.*, 2006; Périno *et al.*, 2013).

b. Por arrastre con vapor de agua

La separación del aceite esencial se realiza con arrastre de vapor de agua, que al condensarse se separa el aceite del agua por diferencia de densidad. Es la técnica más utilizada, tanto por los pequeños productores, como por los grandes industriales para hierbas aromáticas, situación que ha propiciado el desarrollo de destiladores comerciales con diferentes capacidades de material vegetal y que ofrece la posibilidad de utilizar material fresco o seco. Una fuente de vapor, el

contenedor de materia prima, un condensador y un separador, son los componentes principales de un destilador. Los grandes destiladores industriales tienen una caldera que es la que genera el vapor que pasa por el material. A los más pequeños se les coloca agua en el fondo del contenedor, que al hervir genera el vapor que pasa por la materia prima, llegando a las estructuras donde se encuentran los aceites esenciales en la planta, arrastrándolos en su paso. En ambos casos, el vapor se enfría rápidamente, al condensarse se separa el aceite y el agua (Curtis, 2006). De este proceso de destilación se obtiene el aceite esencial, además el agua que generó el vapor retiene algunos componentes aromáticos, producto que también es comercializado como agua florada, hidrolato o hidrosol, y al que se le han encontrado propiedades microbicidas y antioxidantes (Paolini *et al.*, 2008; Tannous *et al.*, 2008; Baydar y Kineci, 2009; Aazza *et al.*, 2011).

3.5.2. Calidad de aceites esenciales

Está determinada por su composición química, características aromáticas olfativas y el grado de pureza o cantidad de residuos contaminantes y se mide por los porcentajes de sus componentes activos. Depende de la producción, cosecha, postcosecha, proceso de extracción y almacenaje del producto final. Los factores que afectan la calidad de los aceites esenciales: origen botánico, órgano de la planta involucrada, etapa fenológica en que se cosecha, mal manejo en postcosecha e impurezas como polvo, agroquímicos, insectos y humedad ambiental (Guerrero y Ruiz, 2012).

Los estándares de calidad en aceites esenciales, indican que debe conocerse sus componentes y el porcentaje de cada uno de estos componentes, que se obtiene por métodos fitoquímicos. El principal método de aislamiento y purificación es el cromatográfico, que acoplado a un

espectrómetro de masas (CG-SM) tiene utilidad cualitativa (identificación) y cuantitativa (determinación). Existen también análisis de color y aroma que en algunos casos, son considerados como parámetros de calidad (Kuklinski, 2003).

En lavanda, se ha encontrado que existen diferencias entre un cultivar y otro, mismas que ocasionan diferentes usos a los aceites obtenidos de estos cultivares. Los criterios para determinar la calidad en esta especie son los niveles de alcanfor, linalol y acetato de linalilo, que debe ser invariablemente más alto en los aceites de alta calidad (Baydar y Kineci, 2009). Por los niveles bajos de alcanfor el aceite esencial de *Lavandula angustifolia* es preferido en la industria del perfume y cosméticos, mientras que el aceite con más alto nivel de alcanfor (*Lavandula stoechas*) es utilizado como repelente de insectos, en la industria farmacéutica y la de alimentos (Weinsensfeld, 1999; Boeckelmann, 2008).

Según la Norma ISO 8902, el aceite esencial de lavandin tipo Grosso (*Lavandula angustifolia* Miller x *Lavandula latifolia* (L.f.) Medicus) contiene 14 componentes mayoritarios, entre los que destaca linalol y acetato de linalilo, en menor medida alcanfor y 1,8-cineol (Cuadro 3), es casi incoloro, tiene un suave aroma floral-herbáceo, suave y fresco (ISO CD/8902, 2007).

Existen estándares de calidad tanto para las flores y para el aceite esencial publicados por la European Pharmacopoeia. También existen especificaciones para el aceite de lavanda publicados por el Food Chemicals Codex (FCC) y por International Organization for Standardization (ISO).

CUADRO 3. Componentes del aceite esencial de lavandin (ISO CD/8902, 2007).

Componente	Porcentaje mínimo	Porcentaje máximo
Mirceno	0.3	1.0
Limoneno	0.5	1.5
1,8-cineol	4.0	8.0
Cis- β -ocimeno	0.5	1.5
Trans- β -ocimeno	nd	1.0
Linalol	24	37
Alcanfor	6.0	8.5
Borneol	1.5	3.5
Lavandulol	0.2	1.0
Terpin-4-ol	1.5	5.0
α -terpineol	0.3	1.3
Butirato de hexilo	0.3	0.5
Acetato de linalilo	25	38
Acetato de lavandulilo	1.5	3.5

3.6. Actividad biológica del aceite esencial

En la actualidad hay una búsqueda constante de alternativas para el control plagas y enfermedades agrícolas; con un mayor enfoque en producto con bajo impacto ecotóxico, se ha incrementado la investigación y el uso de plantas aromáticas y sus subproductos, encontrándose actividad biológica de aceites esenciales de la familia *Lamiaceae*; dentro de esta, destaca la actividad de lavanda contra algunos insectos, hongos, bacterias y malezas; entre las investigaciones más prometedoras para el sector agrícola se encuentran las siguientes:

3.6.1. Contra hongos y oomicetos

La actividad de lavanda contra hongos y oomicetos fitopatógenos ha sido probada por Soylyu *et al.*, 2006 contra *Phytophthora infestans*. Se probó con éxito la actividad de *L. officinalis* contra *Colletotrichum lindemuthianum* y *Alternaria brassicicola*, y se encontró que limitó su crecimiento en condiciones de laboratorio (Bralewski *et al.*, 2007). Además, Moon *et al.*, 2007, encontraron fuerte actividad del aceite esencial *L. angustifolia* y *L. x intermedia* contra *Aspergillus nidulans*, *Leptosphaeria maculans* y *Sclerotinia sclerotiorum*.

3.6.2. Contra insectos

También contra algunos insectos se ha encontrado actividad de lavanda; por ejemplo, *L. angustifolia* presentó actividad contra garrapatas (*Psoroptes cuniculi*) (Perrucci *et al.*, 1996); la misma especie fue altamente tóxica contra larvas de *Spodoptera littoralis* (Pavela, 2005) y *L. officinalis* fue mortal para adultos de *Callosobruchus maculatus* (Manzoozi *et al.*, 2010). Por otra parte, se demostró su actividad contra larvas de algunos moscos como son: *Aedes aegypti*, *Anopheles stephensi* y *Culex quinquefasciatus* (Amer y Mehlhorn, 2006), que aunque no afectan cultivos agrícolas, si afectan la salud humana.

3.6.3. Contra malezas

Aceite esencial de *L. stoechas* y *L. angustifolia* presentaron efecto fitotóxico contra amaranto (*Amaranthus retroflexus*) y verdolaga (*Portulaca oleracea*) que infestaron cultivos de jitomate (*Lycopersicon esculentum*) y algodón (*Gossypium* spp.) (Argyropoulos *et al.*, 2008). Por otro lado, Haig *et al.*, 2009, determinaron que extractos de hoja y tallos (a 10%) de *L. x intermedia* cv.

Grosso inhibieron casi completamente el crecimiento de raíz del “rye grass” un zacate que se convierte en maleza invasiva en cultivos de trigo en Australia.

4. Bibliografía

Aazza S., Lyoussi B.; Miguel G. 2011. Antioxidant Activity of some Moroccan Hydrosols. Journal of Medicinal Plants Research. 5(30):6688-6696.

Acosta L. L. 2003. Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. Rev Cubana Plant Med. 8 (1) Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102847962003000100008&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1028-4796.

Amer A.; Menlhorn H. 2006. Larvicidal effects of various essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex* larvae (Diptera, Culicidae). Parasitol Res 99:466-472.

Arabaci O., Bayram E., Baydar H., Savran F. Karadogan T.; Ozay N. 2007. Chemical Composition, Yield and Contents of Essential oil of *Lavandula hybrid* Reverchon Grown under Different Nitrogen Fertilizer, Plant Density and Location. Asian Journal of Chemistry. 19(3):2184-2192.

Argyropoulos E.; Eleftherohorinos G.; Vokou D. 2008. In vitro evaluation of essential oils from Mediterranean aromatic Plants of the Lamiaceae for weed control in tomato and cotton crops. Allelopathy J. 22:69-78.

Basso F., Pisante M.; Basso B. 1998. Agronomical Aspects of Officinal Plant Cultivation. Phytotherapy Research. 12:131-134.

Bauer K.; Garbe D.; Surburg H. 1990. Common Fragrance and Flavor Materials. Preparations, Properties and Uses, Ed 2. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany

- Baydar H.; Erbas S. 2009. Effects of Harvest Time and Drying on Essential Oil Properties in Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). *Acta Hort.* ISHS. 826:377-382.
- Baydar H.; Kineci S. 2009. Scent Composition of Essential Oil, Concrete, Absolute and Hydrosol from Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) *Jeobp.* 12(2):131-136.
- Biesiada A., Sokol L.; Kucharska A. 2008. The Effect of Nitrogen Fertilization on Yielding and Antioxidant Activity of Lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus.* 7(2):33-40.
- Boeckelmann A. 2008. Monoterpene production and regulation in Lavenders (*Lavandula angustifolia* and *Lavandula x intermedia*). Thesis University of British Columbia, Okanagan. 96p.
- Bombarda I., Dupuy N., Le Van Da J., Gaydou E. 2008. Comparative chemometric analyses of geographic origins and composition of lavandin var. Grosso essential oils by mid infrared spectroscopy and gas chromatography. *Analytica Chimica Acta.* 613:31-39.
- Bralewski T.; Frackowiak M.; Kozera L. 2007. Effect of selected aromatic oils on the development of the pathogenic fungi colonizing vegetables seeds in the laboratory conditions. *Buletinul USAMV-CN* 64.
- Cabot P.; Fanlo M. 2007. Estudio del porcentaje de germinación de *Lavandula latifolia* Medic., *Rosmarinus officinalis* (L.) y *Salvia lavandulifolia* Vahl. Con diferentes pretratamientos, para optimizar el proceso de reproducción sexual. *Actas de Horticultura* 48:717-720.
- Carrubba, A.; Ascolollo, V. 2009. Effects of organic and chemical N-fertilization on yield and morphobiological features in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta Hort.* ISHS 826:35-42.

- Castle J.; Lis-Balchin M. 2002. History of uses of *Lavandula* species. In Lis-Balchin M. The genus *Lavandula*. Taylor & Francis. London.
- Cavanagh H.; Wilkinson J. 2002. Biological activities of Lavender essential oil. *Phytother. Res.* 16:301-308.
- CBI Market Information Database. 2009. Trends and Segments for Essential Oils for Cosmetics. http://www.cbi.eu/marketinfo/cbi/docs/natural_ingredients_for_cosmetics_the_eu_market_for_essential_oils_for_cosmetics
- Curtis B. 2006. Growing and Marketing Lavender. *Farming the Northwest Series* EB2005. Washington State University Extension. 28 p.
- Fanlo M., Melero R., Moré E.; Cristobal R. 2009. Cultivo de Plantas Aromáticas, Medicinales y Condimentarias en Cataluña. Centro Tecnológico Forestal de Cataluña. España.
- Guerrero L.; Ruiz P. 2012. El Cultivo de Plantas Aromáticas: Una Alternativa Agroindustrial para Comunidades Agrarias. Colegio de Postgraduados. México. Primera edición. ISBN: 978-607-715-069-5 72p.
- Guerrero L.; Ruiz P. 2013. Cadena productiva de plantas aromáticas. Colegio de Postgraduados. México. Primera edición. ISBN: 978-607-715-171-5 56 p.
- Haig T.; Seal A.; Pratley J.; Hanwen W. 2009. Lavender as a source of novel compounds for the development of a natural herbicide. *J Chem Ecol* 35:1129-1136.
- Hassiotis C., Lazari D.; Vlachonasios K. 2010. The Effects of Habitat Type and Diurnal Harvest on Essential Oil Yield and Composition of *Lavandula angustifolia* Mill. *Fresenius Environmental Bulletin*. 19(8):1491-1498.
- Holmes, C.A., 2005. IENICA summary report for the European Union 2000-2005. Interactive European Network for Industrial Crops and their Applications.

- Hüsnü C.; Buchbauer G. 2009. Handbook of essential oils: science, technology, and applications. CRC Press. Print ISBN: 978-1-4200-6315-8 eBook ISBN: 978-1-4200-6316-5 DOI: 10.1201/9781420063165-c19
- ISO CD/8902. 2007. Oil of Lavandin Grosso [*Lavandula angustifolia* Miller x *Lavandula latifolia* (L.f.) Medicus] (in French).
- Jager W.; Buchbauer G.; Jirovetz L.; Fritzer M. 1992. Percutaneous absorption of lavender oil from massage. J. Soc Cosmetic Chem 43:49-54.
- Jeliazkova, E.; Zheljazkov, V.; Craker, L.; Yankov, B.; Georgieva, T. 1999. NPK fertilizer and yields of peppermint, *Mentha x piperita*. Acta Hort. ISHS 502: 231-236.
- Kubota S., Momose H., Yoneda K.; Koshioka M. 2010. *Lavandula x intermedia* is a vernalization type plant. JARQ 44:67-72.
- Kuklinski C. 2003. Farmacognosia: estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Ediciones Omega.
- Lapczynski L. 2008. Addendum to Fragrance material review on linalool. Food and Chemical Toxicology. 46 (11):190-192.
- Lis-Balchin M, 2002. Miscellaneous uses of lavender and lavender oil. In: Lis-Balchin M. The genus *Lavandula*. Taylor & Francis. London.
- López X., Bagisnky C.; Portilla G. 1997. Caracterización del Crecimiento y Rendimiento de Plantas de Lavanda Establecidas en la Región Central de Chile. Agricultura Técnica. 57 (2):113-121.
- Lubbe A.; Verpoorte R. 2011. Cultivation of Medicinal and Aromatic Plants for Speciality Industrial Materials. Industrial Crops and Products. 34:785-801.

- Manzoomi N.; Ganbabani G.; Dastjerdi H.; Asghar F. 2010. Fumigant toxicity of essential oils of *Lavandula officinalis*, *Artemisia dracunculus* and *Heracleum persicum* on the adults of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Mun. Ent. Zool.* 5:118-122.
- Market News Service. 2011. Essential Oils and Oleoresins. Bulletin International Trade Centre. http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/MNS/Essential_Oil_and_Oleoresins_Sample.pdf
- Moon T.; Cavanagh H.; Wilkinson J. 2007. Antifungal activity of Australian grown *Lavandula* spp. Essential oils against *Aspergillus nidulans*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Leptosphaeria maculans* and *Sclerotinia sclerotiorum*. *J. Ess. Oil Res.* 19:171–175
- Muñoz L. 2002. Plantas medicinales y aromáticas: estudio cultivo y procesado. Ed. Mundi-Prensa. 365p.
- Nikolova, A.; Kozhuharova, K.; Zheljzkov, V.; Craker, L. 1999. Mineral nutrition of chamomile (*Chamomilla recutita* (L.) K. *Acta Hort. ISHS* 502: 203-208.
- Paolini J.; Leandri C.; Desjobert J.; Barboni T.; Costa J. 2008. Comparison of liquid-liquid extraction with headspace methods for the characterization of volatile fractions of commercial hydrolats from typically Mediterranean species. *J. Chromatogr. A.*, 1193: 37-49.
- Pavela R. 2005. Insecticidal activity of some essential oils against larvae of *Spodoptera littoralis*. *Fitoterapia* 76:691–696.
- Périno I.; Ginies Ch.; Cravotto G.; Chemat F. 2013. A comparison of essential oils obtained from lavandin via different extraction processes: Ultrasound, microwave, turbohydrodistillation, steam and hydrodistillation. *Journal of Chromatography A.* 1305: 41-47.

- Perruci S.; Macchioni G.; Cioni P.; Flamini G.; Morelli I.; Taccini F. 1996. The activity of volatile compounds from *Lavandula angustifolia* against *Psorotes cuniculi*. *Phytother Res* 10:5-8.
- Sangwan N., Farooqi A., Shabih F.; Sangwan R. 2001. Regulation of Essential Oil Production in Plants. *Plant Growth Regulation* 34:3-21
- Sifola, M.; Barbieri, G. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. *Scienta Horticulturae* 108:408-413.
- Soylu E.; Soyly S.; Kurt S. 2006. Antimicrobial activities of the essential oils of various plants against tomato late blight disease agent *Phytophthora infestans*. *Mycopathologia* 161:119-128.
- Sundria C., Pinol, M., Palazon J., Cusido R., Vila R., Morales C., Bonfill C.; Canigueral, S. 1999. Influence of Plant Growth Regulators on the Growth and Essential Oil Content of Cultured *Lavandula dentate* Plantlets. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 58: 177-184.
- Tannous, P., Juliani, R., Wang, M.; Simon S. 2004. Water balance in hydrosol production via steam distillation: case study using lavandin (*Lavandula x intermedia*). *New Use Agriculture and natural Plant Products and ASNAPP Program*, February 09, 2004. New Jersey, USA.
- Tisserand, R. 1998. Lavender beats benzodiazepines. *Int J Aromather* 1:1-2.
- Tisserand R.; Balacs T. 1999. *Essential oil safety. A Guide for Health Care Professionals*. Harcourt: Glasgow.
- Upson T. 2002. The taxonomy of the genus *Lavandula* L. En: Lis-Balchin M. *The genus Lavandula*. Taylor & Francis. London.

- Wang Z., Ding L., Zhou X., Wang L., Zhang H., Liu L., Wang H., Zeng H.; He H. 2006. Improved Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from Dried *Cuminum cyminum* L. and *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. Journal of Chromatography A. 1102:11-17.
- Weinsenfeld E. 1999. Aroma profiles of various *Lavandula* species. SISWEB Application note 57. <http://www.sisweb.co/referenc/applnote/noville.htm>

CAPÍTULO I

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LAVANDA (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.)

FERTILIZATION EFFECTS ON LAVENDER PRODUCTION (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.)

Resumen

La lavanda (*Lavandula x intermedia*) se cultiva principalmente para la extracción de aceite esencial a partir de sus inflorescencias. En México su cultivo apenas inicia con escasa información en cuanto a un programa de fertilización que mejore los rendimientos de flor. Se planteó la presente investigación con el objetivo de evaluar diferentes esquemas de fertilización orgánica e inorgánica en campo. Se evaluaron dos factores (fertilización al suelo con vermicomposta y triple 17) con tres niveles (fertilización foliar con ácidos húmicos, fitohormonas o sin aplicación) estableciendo los seis tratamientos siguientes: T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas. Se estableció un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x3, con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por tres plantas. Los resultados obtenidos muestran que para la primer cosecha no hubo efecto de los factores estudiados (fertilización suelo, foliar y su combinación), el efecto se observó para el segundo año de producción, los tres factores ejercieron un efecto significativo sobre todas las variables evaluadas. Por lo tanto, la fertilización fue determinante para la altura de la planta, número de tallos, peso fresco y seco del follaje,

número de hojas, área foliar, número y peso seco de inflorescencias. Mientras que la aplicación de triple 17 y fitohormonas presentaron los valores más altos de altura de planta (26.44 cm), número de tallos (310), peso fresco (352.16 g) y seco de follaje (80.99 g), número de inflorescencias (63) y peso seco de éstas (2.02 g); cuando solo se aplicó vermicomposta se presentaron los valores más bajos (23.11 cm, 224, 224.82 g, 51.71 g, 24, 1.54 g, respectivamente). La aplicación de fitohormonas incrementó un 384 % la producción de inflorescencias en T6.

Palabras clave: Lavandin, planta aromática, inflorescencia.

Abstract

Lavender (*Lavandula x intermedia*) is mainly cultivated for the extraction of essential oil from inflorescences. Cultivation in Mexico has just begun, with little information as to a fertilization program to improve yields flower. This research was raised in order to evaluate different schemes of organic and inorganic fertilization field; two factors (soil fertilization with vermicompost and 17 triple) with three levels (foliar fertilization with humic acids, plant hormones or without application), the following six treatments were evaluated: T1, vermicompost; T2: vermicompost and humic acids; T3: vermicompost and phytohormones; T4: triple 17; T5: triple 17 and humic acids; T6: triple 17 and phytohormones. Experimental design completely randomized 2x3 factorial arrangement with four replications was established. The experimental unit consisted of three plants. The results show that for the first harvest there was no effect of the factors studied (soil fertilization, foliar or their combination), the effect was observed until the second year of production, and the three factors had a significant effect on all variables. Therefore, fertilization was crucial for plant height, number of stems, fresh and dry

weight of leaves, number of leaves, leaf area, number and dry weight of inflorescences. While the application of triple 17 and phytohormones showed the highest values of plant height (26.44 cm), number of stems (310), fresh weight (352.16 g) and dry leaves (80.99 g), number of inflorescences (63) and dry them (2.02 g) weight; the vermicompost gave the lowest values (23.11 cm, 224, 224.82 g, 51.71 g, 24, 1.54 g, respectively). The application of phytohormones increased 384 % production of inflorescences in T6.

Keywords: Lavandin, aromatic plant, inflorescence.

1.1. Introducción

Las especies de lavanda pertenecen al género *Lavandula* de la familia Lamiaceae, se cultivan principalmente para la producción de aceite esencial que se encuentra en las flores (Kubota *et al.*, 2010), aunque también el uso de la especie como ornamental, la venta de flor, subproductos a partir de ésta y el agroturismo son actividades económicamente importantes.

Existen aproximadamente 30 especies, con cientos de cultivares y tres, son las especies más cultivadas por su importancia comercial, entre las que destaca *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso por la gran producción de flores, éste es un híbrido obtenido de *L. angustifolia* y *L. latifolia* (Bombarda *et al.*, 2008). En Europa se concentra la mayor producción y exportación de lavanda, tanto de flor, aceite y extractos; destacan Francia y España. Fuera de Europa se ha expandido a Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Argentina, Chile y China (Curtis, 2006 y MNS, 2011). En México existen pocos cultivos localizados básicamente en Puebla, Guanajuato e Hidalgo (Guerrero y Ruiz, 2012).

El principal objetivo en la producción de este cultivo es obtener altos rendimientos de flor, órgano dónde se almacena en mayor cantidad el aceite esencial; por lo tanto, para su cultivo deben considerarse los factores genéticos, climáticos y agronómicos que contribuyen a incrementar estos rendimientos (Basso *et al.*, 1998; Sangwan *et al.*, 2001; Arabaci *et al.*, 2007). Dentro de los factores agronómicos, la fertilización es determinante en la producción de flores porque incrementa los rendimientos de biomasa por unidad de área. Lavanda es considerada una planta rústica por sus bajos requerimientos de nutrientes, suelo y agua (Muñoz, 2002; Curtis 2006) y existen pocas recomendaciones de fertilización para su cultivo. Las investigaciones se enfocan en el uso de fertilizantes nitrogenados para incrementar la producción de inflorescencias y aceite esencial (Curtis, 2006; Arabaci *et al.*, 2007), se sugiere que no se exceda los 100 kg ha⁻¹, si se quiere obtener altos rendimientos de flor (Biesiada *et al.*, 2008). Por otro lado, está bien establecido que la vermicomposta y ácidos húmicos tienen efectos benéficos sobre el suelo e incrementan el crecimiento de las plantas y el rendimiento de cultivos (Edwards, 1998, Nardi *et al.*, 2002), Mananga en 2004 aplicó vermicomposta en cinco variedades de lavanda (Grosso, Folgate, Super, Provence y Hidcote), y demostró que favoreció la producción; por otro lado, aunque no existen investigaciones sobre el efecto de ácidos húmicos en lavanda, si existen evidencias que éstos actúan positivamente en el metabolismo de plantas superiores (Atiyeh *et al.*, 2002; Nardi *et al.*, 2002). A pesar de que existen pocas evidencias del uso de reguladores de crecimiento para incrementar rendimiento de inflorescencias en lavanda, Porter y Shaw (1983) recomiendan la aplicación este tipo de hormonas en el período de dormancia en plantas jóvenes para estimular los brotes florales.

Ante esta perspectiva y considerando que en México su cultivo es incipiente, el objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes esquemas de fertilización en campo e identificar el esquema de fertilización que incremente la producción de flores de lavanda.

1.2. Materiales y métodos

1.2.1. Localización experimento

En el Colegio de Postgraduados en Texcoco, Edo de México (19°29' N, 98°54' O) se desarrolló el experimento durante dos años (2010-2012) sobre un suelo arcilloso (30% arena, 44% arcilla y 26% limo), con pH de 8.3 (Anexo 1). De acuerdo con la clasificación climática (García, 1987), la zona presenta un clima C (wo) (w) b (i') g, subtipo más seco de los C (w), con una temperatura media anual de 15°C y precipitación media anual es de 644.8 mm.; los datos del clima para los años en los que se estableció el cultivo se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1. Precipitación, temperaturas máximas y mínimas presentes en la zona y años en que se estableció el cultivo de lavanda (Colegio de Postgraduados, 2013).

Año	Temperatura máxima promedio	Temperatura mínima promedio	Precipitación (mm)
2010	28.5	-2.6	809
2011	29.8	-0.9	657.6
2012	30.6	-1.5	628.5

1.2.2. Material vegetal y condiciones de crecimiento.

Las plántulas de lavanda propagadas por esquejes, fueron obtenidas del Rancho San Martín, en Santa Rita Tlahuapan, Pue. Se trasplantaron el 1° de agosto de 2010 (Figura 1),

proporcionándose riego rodado una vez por semana. La distancia entre hileras es de 1.5 m y entre plantas de 0.75 m, de acuerdo con lo recomendado en la literatura (Curtis, 2006). La primera cosecha se realizó en 2011 y la segunda en 2012 de establecido el cultivo.



FIGURA 1. Plantas de lavanda recién trasplantadas en campo, agosto 2010.

1.2.3. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos establecidos se muestran en el Cuadro 2 donde se observa la combinación de fertilizantes orgánicos y minerales, al momento del trasplante se incorporaron 400 g de vermicomposta por planta, mezclada con el suelo; 5 g·planta⁻¹ de NPK (17-17-17) al pie de cada planta a un mes de establecido el cultivo, posteriormente cada tres meses y la aplicación de los

fertilizantes foliares fue cada 15 días en las concentraciones recomendadas por la marca comercial (1.5 mL·L). Se estableció un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x3, con cuatro repeticiones. Los factores evaluados fueron fertilización al suelo, fertilización foliar y su interacción. Las parcelas estuvieron constituidas por 15 plantas y las tres centrales se utilizaron como unidad experimental (Figura 2).

CUADRO 2. Factores y tratamientos de fertilización correspondientes para plantas de lavanda.

Tratamiento	Fertilización inicial	Fertilización
	al suelo	Foliar
T1	Vermicomposta ^a	-----
T2	Vermicomposta ^a	Ácidos húmicos ^c
T3	Vermicomposta ^a	Fitohormonas ^d
T4	Triple 17 ^b	-----
T5	Triple 17 ^b	Ácidos húmicos ^c
T6	Triple 17 ^b	Fitohormonas ^d

^a 400 g por planta incorporado al suelo al momento del trasplante; ^b 5 g al mes del trasplante y posteriormente cada tres meses; ^c Nutrihumus cada dos semanas; ^d Bioforte cada dos semanas

0 0 0 0 0 0 T2-R1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T6-R1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T1-R1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T5-R1 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T3-R1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 T6-R2 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T1-R2 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T5-R2 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T3-R2 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T4-R1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 T3-R3 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T4-R3 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T2-R4 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T4-R2 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T2-R3 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 T5-R3 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T2-R4 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T6-R3 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T1-R3 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T4-R4 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T6-R4 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T3-R4 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T5-R4 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 T1-R4 0 0 0 0 0 0

FIGURA 2. Distribución de parcelas en campo: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas, T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas. R1, repetición 1; R2 repetición 2; R3, repetición 3; R4, repetición 4.

1.2.4. Variables respuesta evaluadas

En cada cosecha a la mitad de la floración (cuando se presentaba la mitad de las flores abiertas) se evaluó el crecimiento y desarrollo de follaje, así como la producción de flor; se midió la altura de las plantas (cm) con una regla graduada en milímetros y se contabilizó el número de tallos; del follaje obtenido de la poda realizada a 15 cm de la base, después de la floración, se contabilizó el número de hojas y su área foliar total (cm²) con un integrador marca LI-COR-MODLI-3100; se determinó el peso fresco y seco del follaje (g). La producción de inflorescencias se obtuvo contabilizando el número de éstas y determinando su peso seco (g). A partir de hojas y tallos secados a 70°C por 72 horas se realizó el análisis químico del tejido vegetal, donde se cuantificó nitrógeno total por método Kjeldahl, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso y boro por espectrometría de emisión atómica (Alcántar y Sandoval, 1999).

1.2.5. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y una comparación de medias de tratamientos con el método de Tukey ($P \leq 0.05$), utilizando el paquete estadístico SAS, versión 9.2 (SAS, 1994).

1.3. Resultados y discusión

1.3.1. Crecimiento y desarrollo de follaje

El crecimiento vegetativo de las plantas se inició entre los 210 y 255 días después del trasplante, durante la primavera y se acentuó en la época de lluvias. Las plantas toleraron las bajas temperaturas presentadas durante el invierno, la mínima fue de -9.0°C, en noviembre de 2010, en

el invierno del 2010 se acumularon 727 horas frío y en 2011, 498 (Colegio de Postgraduados, 2013). Investigaciones anteriores demuestran que esta especie entra en un período de dormancia durante el invierno e inicia su crecimiento en la temporada más cálida; además requiere de un período frío para inducir y promover la floración (Curtis, 2006; Kubota *et al.*, 2010).

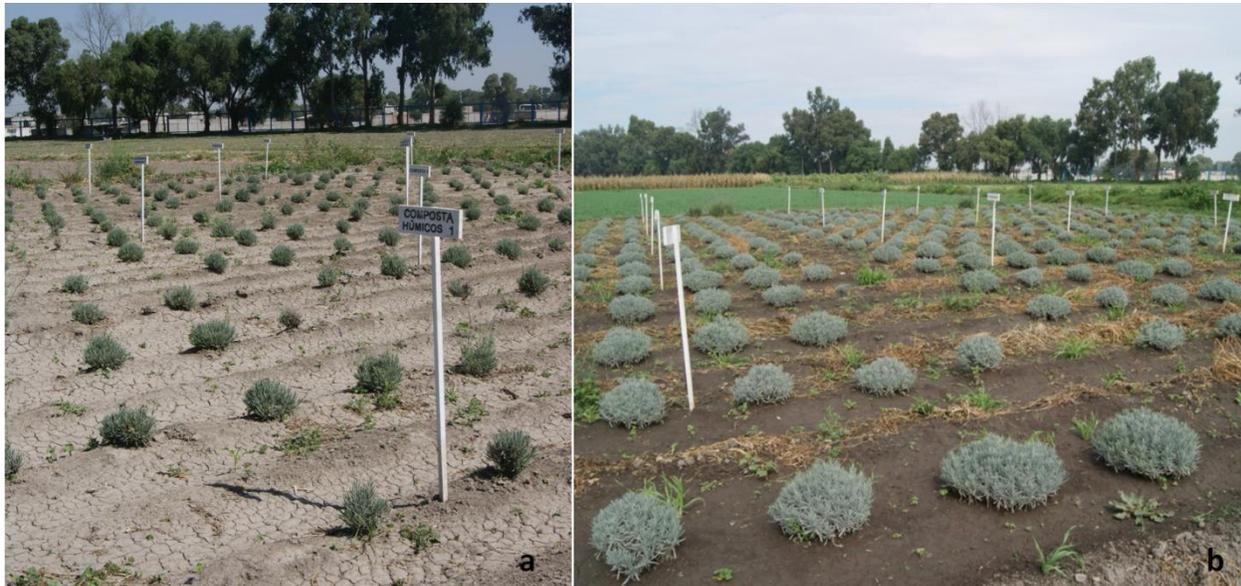


FIGURA 3. Plantas de lavanda establecidas en campo: a) primer año de establecido el cultivo; b) segundo año de establecido el cultivo.

Durante el primer año de cosecha (Figura 3a) no hubo efecto de los factores estudiados sobre ninguna variable (Cuadro 3), excepto en número de tallos y área foliar (fertilización foliar). Tampoco hubo diferencias estadísticas entre las medias de las variables de crecimiento, excepto en el área foliar que presentó su valor más alto con el tratamiento T4 (Cuadro 4). Esta situación concuerda con diversas investigaciones que establecen un crecimiento vegetativo mínimo durante el primer año, así como un reducido número de inflorescencias; la producción

comercialmente importante es considerada del tercer año al séptimo (Lammerink *et al.*, 1989; López *et al.*, 1997; Muñoz, 2002; Fanlo *et al.*, 2009).

CUADRO 3. Valores del nivel de significancia *P* del análisis de varianza para variables de crecimiento y desarrollo de follaje de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2011.

Fuente de variación	AP	NT	PFF	PSF	NH	AF
Fertilización al suelo	0.1826	0.9510	0.8671	0.5049	0.1509	0.0125
Fertilización foliar	0.9848	<.0001	0.4183	0.4847	0.3062	0.1028
Fertilización suelo x fertilización foliar	0.3002	0.9855	0.6521	0.8346	0.3290	0.0157

AP, altura de la planta; NT, número de tallos; PFF, peso fresco del follaje; PSF, peso seco del follaje; NH, número de hojas; AF, área foliar. Significancia con $P \leq 0.05$

CUADRO 4. Crecimiento y desarrollo de follaje del primer año de producción (2011) de plantas de lavanda cultivadas con diferentes esquemas de fertilización.

Tratamiento ¹	Altura planta (cm)	Número tallos	Peso fresco follaje (g)	Peso seco follaje (g)	Número hojas	Área foliar (cm ²)
T1	22.91a	205a	340.79a	112.95a	11772a	2818.24b
T2	23.45a	199a	349.58a	112.42a	12693a	3181.58b
T3	22.83a	185a	318.80a	106.95a	11383a	2785.22b
T4	23.58a	207a	366.25a	115.42a	16592a	4661.81a
T5	23.18a	200a	329.69a	123.02a	12871a	2908.85b
T6	23.72a	184a	323.37a	107.89a	11914a	3342.04ab

¹ T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

Sin embargo, para el segundo año de producción (Figura 3b) los dos factores estudiados (fertilización al suelo, fertilización foliar) ejercieron un efecto estadísticamente significativo ($P \leq 0.05$) sobre todas las variables evaluadas, excepto en el número de tallos que se vio influido únicamente por la fertilización al suelo (Cuadro 5). Se presentaron diferencias estadísticas en la altura, número de tallos, peso fresco y seco de follaje, número de hojas y área foliar. Las plantas fertilizadas únicamente con vermicomposta (T1) fueron las que presentaron los valores más bajos en todas las variables y las fertilizadas con triple 17 dieron los valores más altos (Figura 4), cuando se complementó el triple 17 con fitohormonas (T6) incrementaron los valores significativamente (Cuadro 6), este esquema de fertilización incrementó la altura 14 %, el número de tallos 56 %, peso fresco y seco del follaje 56 %, número de hojas 131 % y área foliar 200 % comparadas contra las plantas que fueron crecidas únicamente con vermicomposta. Además la fertilización complementaria con ácidos húmicos, con vermicomposta (T2), y con triple 17 (T5) respectivamente, incrementó el número de hojas y área foliar, con diferencia estadísticas significativas.

CUADRO 5. Valores del nivel de significancia P del análisis de varianza para variables de crecimiento y desarrollo de follaje de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2012.

Fuente de variación	AP	NT	PFF	PSF	NH	AF
Fertilización al suelo	0.002	<.0001	0.0039	0.0039	<.0001	0.0005
Fertilización foliar	<.0001	0.1323	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001
Fertilización suelo x fertilización foliar	0.0084	0.1808	0.0031	0.0031	0.0363	0.8132

AP, altura de la planta; NT, número de tallos; PFF, peso fresco del follaje; PSF, peso seco del follaje; NH, número de hojas; AF, área foliar. Significancia con $P \leq 0.05$

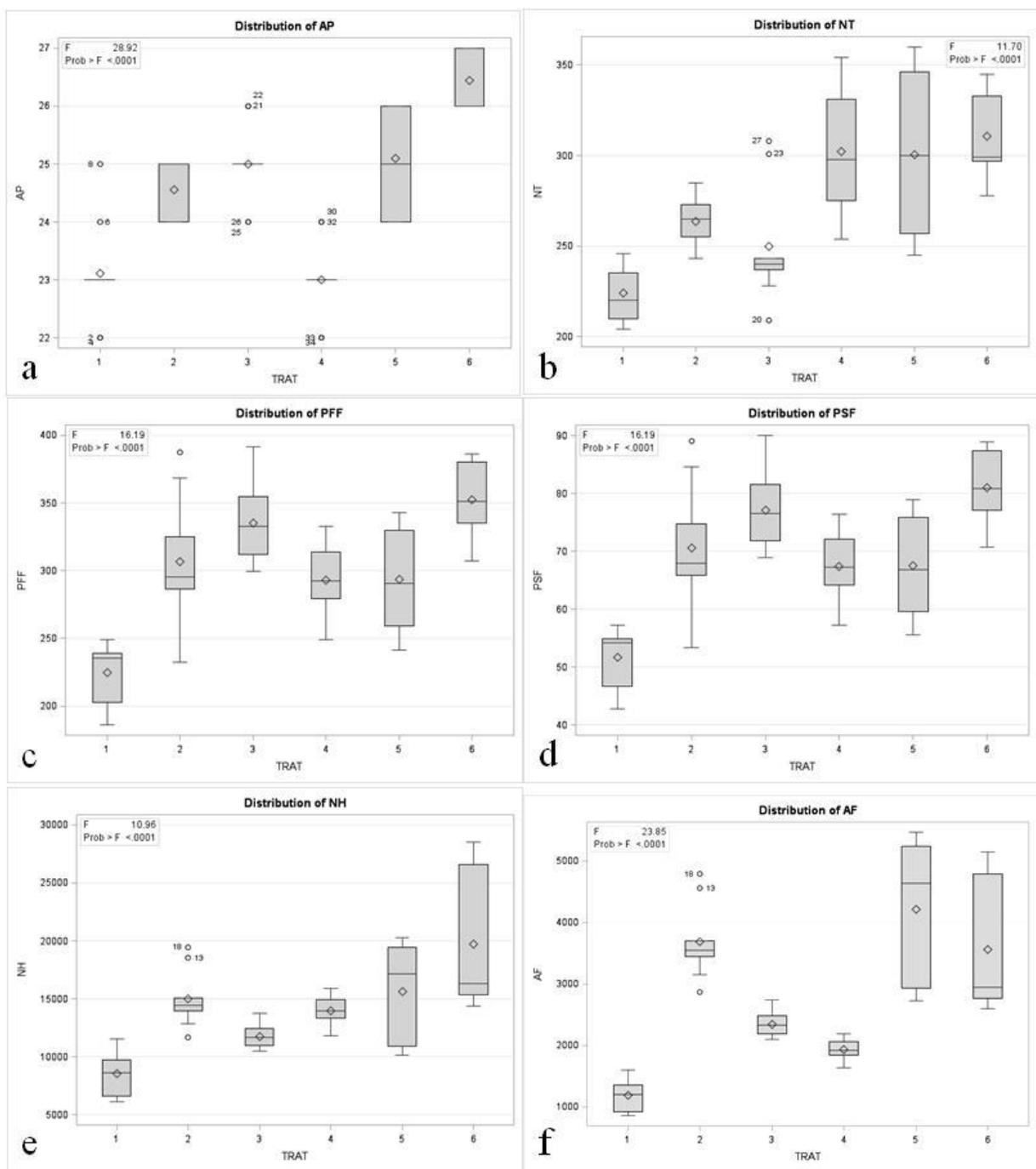


FIGURA 4. Gráficas BoxPlot para las variables de crecimiento y desarrollo de follaje de plantas de lavanda. a: altura de la planta (AP); b: número de tallo (NT); c: peso fresco de follaje (PFF); d: peso seco de follaje (PSF); e: número de hojas (NH); f: área foliar (AF). Tratamientos (TRAT): 1, vermicomposta; 2, vermicomposta más ácidos húmicos; 3, vermicomposta más fitohormonas; 4, triple 17; 5, triple 17 más ácidos húmicos; 6, triple 17 más fitohormonas.

CUADRO 6. Crecimiento y desarrollo de follaje del segundo año de producción (2012) de plantas de lavanda cultivadas con diferentes esquemas de fertilización.

Trata- miento¹	Altura planta (cm)	Número tallos	Peso fresco follaje (g)	Peso seco follaje (g)	Número hojas	Área foliar (cm²)
T1	23.11 c	224 c	224.82 c	51.71 c	8516 c	1182.51 c
T2	24.55 b	261 bc	296.78 ab	68.25 ab	14455 ab	3554.30 a
T3	25.00 b	253 c	340.52 ab	78.31 ab	12539 bc	2586.67 b
T4	23.00 c	302 ab	293.25 b	67.44 b	13980 bc	1926.25 bc
T5	25.10 b	300 ab	293.84 b	67.58 b	15608 ab	4206.54 a
T6	26.44 a	310 a	352.16 a	80.99 a	19745 a	3563.14 a

¹ T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos indican que lavanda no es una planta con bajos requerimientos nutrimentales; ya que la aplicación de fertilizantes influyó en su desarrollo. La razón por la que un fertilizante inorgánico influye más rápido en el crecimiento de las plantas, es que los nutrimentos se encuentran fácilmente disponibles para la planta; a diferencia de los presentes en la vermicomposta que requiere un proceso de mineralización para liberarlos (Alcántar y Trejo, 2009). Aunque el pH alcalino (8.3) limita la absorción del nitrógeno y fósforo presentes en el triple 17 y de micronutrimentos presentes en el suelo, la fertilización vía foliar permitió que la planta contara con una fertilización completa para realizar sus funciones, desarrollarse y crecer. La marca de fitohormonas aplicadas contienen además de los reguladores de crecimiento, también macro y micronutrimentos, que activan los procesos bioquímicos, promueven el

crecimiento, división celular e inducen floración (Chattopadhyay, 2007), favoreciendo el rendimiento.

Resultados similares han sido reportados por Arabaci *et al.* (2007) y Biesiada *et al.* (2008), al obtener incrementos en el crecimiento vegetativo de plantas de lavanda fertilizadas con nitrógeno. La combinación de nitrógeno con fósforo y potasio, promovió la elongación de tallos y la aparición de brotes laterales en *Lavandula stoechas* (Papafotiou *et al.*, 2000) e incrementó el peso seco del follaje en *L. lanata* (Segura *et al.*, 2007). Por otro lado, el uso de reguladores de crecimiento para favorecer el crecimiento de otras aromáticas ha sido probado por Naiem *et al.* (1987), quienes utilizaron citocininas en menta y salvia, obteniendo plantas más altas y con mayor número de hojas y en lavandin se estimuló el desarrollo de bulbos florales cuando se aplicaron en el período de dormancia (Porter y Shaw, 1983). El uso más común de las fitohormonas se realiza en los cultivos *in vitro*, donde se han probado con éxito para promover el enraizamiento, propagación y crecimiento de *L. vera* y *L. dentata* (Andrade *et al.*, 1999; Sundria *et al.*, 1999; Echegarray *et al.*, 2005).

1.3.2. Floración

Los tallos florales se presentaron desde los primeros días de junio hasta mediados de agosto. La floración para esta especie ha sido reportada entre los meses de julio y septiembre, dependiendo de la altitud (López *et al.*, 1997; Fanlo *et al.*, 2009).

Los valores de número y peso seco de inflorescencias, de la segunda cosecha, fueron influidos únicamente por la fertilización foliar (Cuadro 7). El aporte de nutrimentos fue determinante en la

producción de inflorescencias. En la Figura 5 y 6 se muestra que el número de tallos florales se incrementó significativamente del primer año de producción al segundo, en la primer cosecha fueron las plantas fertilizadas con ácidos húmicos (T2 y T5) las que presentaron el mayor número de tallos florales y los que no tuvieron fertilización foliar (T1 y T4) los que presentaron el menor número de inflorescencias. Para el segundo año, el número de tallos florales se incrementó significativamente cuando se aplicaron fitohormonas (Figura 7) como complemento a la fertilización del suelo con vermicomposta (253 %) o con triple 17 (384 %), comparado con los tratamientos únicamente con vermicomposta y triple 17 respectivamente. Cabe destacar que la aplicación de ácidos húmicos con vermicomposta (T2) y con triple 17 (T5), generó el mismo número de tallos florales (30), lo que corrobora que fue la fertilización foliar la que influyó en la producción de las inflorescencias. Por otro lado, los valores más bajos se obtuvieron también con T4 y T1, cómo en el primer año.

CUADRO 7. Valores del nivel de significancia *P* del análisis de varianza para número de inflorescencias y peso seco de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2012.

Fuente de variación	Número de inflorescencias	Peso seco de inflorescencias
Fertilización al suelo	0.4672	0.5728
Fertilización foliar	<.0001	<.0001
Fertilización suelo x fertilización foliar	0.0006	0.0414

Significancia con $P \leq 0.05$

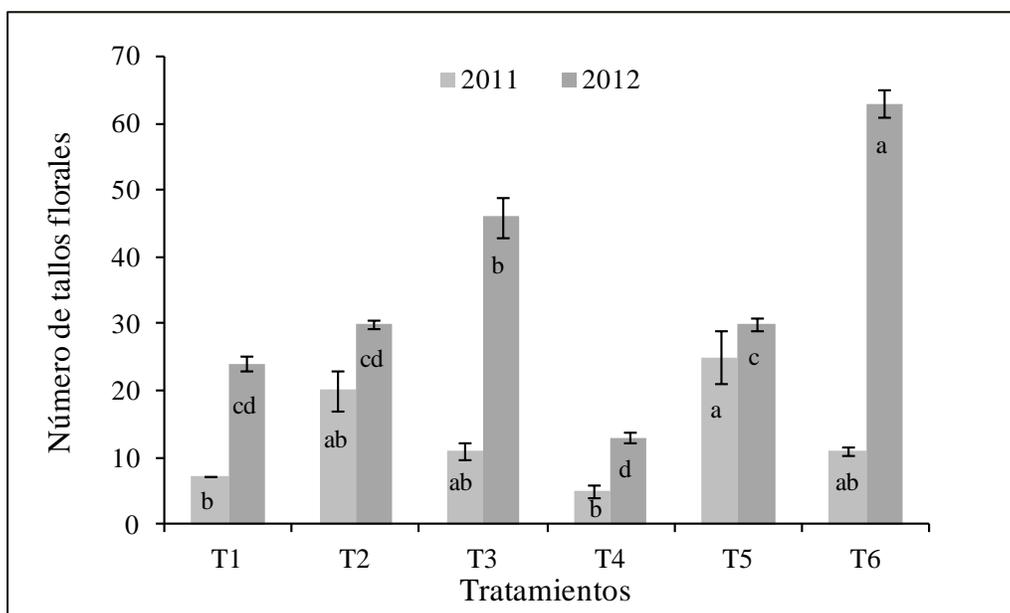


FIGURA 5. Número de tallos florales de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) ± error estándar. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).



FIGURA 6. Floración de plantas de lavanda: a) primera cosecha; b) segunda cosecha.



FIGURA 7. Producción de tallos florales de plantas de lavanda a dos años de establecido el cultivo. a) Fertilizadas con vermicomposta y b) triple 17 más fitohormonas.

El incremento de tallos florales al aportar nutrimentos vía foliar, significa que el pH presente en el suelo es una limitante para que la planta pueda absorber los nutrimentos contenidos en él. Además la aplicación de fitorreguladores intensifica algunos procesos metabólicos e influyen favorablemente en la producción de tallos florales. Situación que ha sido demostrada en *Lavandula vera*, que se vio favorecida al incrementar el número de inflorescencias con la aplicación de citocininas (Naiem *et al.*, 1987). Por otro lado, el peso seco de las inflorescencias estuvo influenciado por el número de las mismas; nuevamente fue con T6 que se alcanzaron los valores más altos de peso seco, 329 % más que con T4 el tratamiento que dio el valor más bajo de peso seco. A pesar de que esta especie entra en plena producción a partir del tercer año

(Muñoz, 2002; Fanlo *et al.*, 2009) se obtuvieron 96 kg ha⁻¹ de flor seca con T6 en el segundo año. No existen reportes en cuanto a número de inflorescencias, ni peso seco de éstas para el segundo año de producción de lavandin; los investigadores que han evaluado floración presentan los resultados a partir del tercer año de establecido el cultivo.

1.3.3. Análisis nutrimental

El contenido nutrimental del follaje mostró respuesta a la aplicación de los fertilizantes. Mientras que la aplicación al suelo no tuvo efecto sobre ningún nutriente, la fertilización foliar sí tuvo efecto sobre nitrógeno, fósforo, magnesio, hierro y manganeso; y la interacción de ambos factores ejercieron efecto en todos los macro y nutrientes, excepto nitrógeno, potasio y boro (Cuadro 8). La fertilización al suelo con vermicomposta incrementó el contenido de nitrógeno en la plantas (Cuadro 9), sin embargo los valores del resto de los nutrientes, excepto potasio, fueron los más bajos; en este tratamiento el aporte nutrimental se vio afectado además del pH por la acción de microorganismos en el suelo que compiten por algunos minerales y por la lenta mineralización de los nutrientes. De los tres tratamientos fertilizados con vermicomposta, el que se complementó con fitohormonas (T3) presentó los valores más altos de micronutrientes comparado con T1 y T2; cabe destacar que la marca comercial utilizada, además de fitohormonas contiene algunos macro y micronutrientes en su fórmula (Anexo 1).

Por otro lado, la fertilización al suelo con triple 17 resultó en el incremento de nitrógeno y fósforo para los tratamientos T4 y T5; el pH del suelo limitó la absorción de hierro y manganeso en T4, mientras que T5 se vio favorecido por la aplicación de ácidos húmicos, incrementando sus valores. No obstante que la aplicación de fitohormonas en T6 incrementó la producción de

lavanda, fue el tratamiento que presentó los valores más bajos tanto de macro, cómo micronutrientes, debido principalmente a la extracción de estos en la producción de flores.

CUADRO 8. Valores del nivel de significancia *P* del análisis de varianza para macro y micronutrientes presentes en el follaje de plantas de lavanda cultivadas bajo seis esquemas de fertilización, cosecha 2012.

Fuente de variación	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B
Fertilización al suelo	0.2687	0.0953	0.9465	0.0808	0.3296	0.3872	0.3984	0.0253
Fertilización foliar	0.0003	<.0001	0.2290	0.3242	<.0001	0.0001	0.0031	0.3733
Fertilización suelo x fertilización foliar	0.7525	<.0001	0.0399	0.0004	<.0001	<.0001	<.0001	0.0990

N, nitrógeno; P, fósforo; K, potasio; Ca, calcio; Mg, magnesio; Fe, hierro; Mn, manganeso; B, boro. Significancia con $P \leq 0.05$

CUADRO 9. Análisis nutrimental de hojas de lavanda cultivada bajo diferentes esquemas de fertilización

Tratamiento ¹	Nitrógeno %	Fósforo ppm	Potasio ppm	Calcio ppm	Magnesio ppm	Hierro ppm	Manganeso ppm	Boro ppm
T1	2.013a	3.64d	14.24a	12.34c	7.52d	2.00b	0.084bc	0.070a
T2	1.930ab	5.59b	14.38a	13.35ab	7.49d	1.95b	0.072c	0.075a
T3	1.763b	5.54b	13.01a	13.64a	9.44a	4.03a	0.100ab	0.072a
T4	2.056a	6.25a	14.56a	13.21ab	8.12bc	1.88b	0.069c	0.089a
T5	2.013a	5.48b	12.87a	13.19ab	8.22b	4.20a	0.121a	0.072a
T6	1.773b	4.79c	14.28a	12.58c	7.78bc	2.35b	0.075c	0.084a

¹ T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

1.4. Conclusiones

La aplicación de vermicomposta resultó en plantas más pequeñas, con menor follaje y tallos florales comparadas con las fertilizadas con triple 17. La aplicación foliar de ácidos húmicos como complemento a la vermicomposta (T2) o al triple 17 (T4), incrementó el número de hojas y área foliar. La fertilización complementaria de fitohormonas en T3 y T6, incrementó la altura de las plantas, número de tallos, peso fresco y seco de follaje, número de inflorescencias y peso seco de éstas. Fue T6, el tratamiento que dio los valores más altos de las variables evaluadas y que incrementó 384 % la producción de inflorescencias comparado con T4, tratamiento que dio el valor más bajo de inflorescencias.

1.5. Bibliografía

- Alcántar G.; Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Chapingo, México.
- Alcántar, G.; Trejo, L. 2009. Nutrición de Cultivos. Mundi Prensa México. México. 454 p.
- Andrade, L.; Echeverrigaray, S.; Fracaro, F.; Pauletti, G.; Rota, L. 1999. The effect of growth regulators on shoot propagation and rooting of common lavender (*Lavandula vera* DC). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 56:79-83.
- Arabaci, O.; Bayram, E.; Baydar, H.; Savran, F.; Karadogan, T.; Ozay, N. 2007. Chemical composition, yield and contents of essential oil of *Lavandula hybrid* Reverchon grown under different nitrogen fertilizer, plant density and location. *Asian Journal of Chemistry* 19(3):2184-2192.

- Atiyeh R.; Lee S.; Edwards C.; Arancon N.; Metzger J. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*. 84:7-14.
- Basso F.; Pisante, M.; Basso, B. 1998. Agronomical aspects of officinal plant cultivation. *Phytotherapy Research* 12: 131-134.
- Biesiada, A.; Letowska S.; Kucharska, A. 2008. The effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 7(2):33-40.
- Bombarda, I.; Dupuy, N.; Le Van Da, J.; Gaydou, E. 2008. Comparative chemometric analyses of geographic origins and composition of lavandin var. Grosso essential oils by mid infrared spectroscopy and gas chromatography. *Analytica Chimica Acta* 613:31-39.
- Chattopadhyay, S. 2007. *Commercial Floriculture*. Gene-Tech Books. 293 p.
- Colegio de Postgraduados. 2013. Estación Meteorológica. <http://www.cm.colpos.mx/meteoro/reporte/index4.htm> (consultado 7 de enero de 2013).
- Curtis, B. 2006. Growing and Marketing Lavender. *Farming the Northwest Series* EB2005. Washington State University Extension. 28 p.
- Echeverrigaray, S.; Basso, R.; Andrade, L. 2005. Micropropagation of *Lavandula dentate* from axillary buds of field-grown adult plants. *Biologia Plantarum* 49(3):439-442.
- Edwards, C.A., 1998. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 327-354.
- Fanlo, M.; Melero, R.; Moré, E.; Cristóbal, R. 2009. Cultivo de Plantas Aromáticas, Medicinales y Condimentarias en Cataluña. Centro Tecnológico Forestal de Cataluña, España. 80 p.

- García E. M. 1987. Modificación al Sistema Climático de Köpen. Universidad Nacional Autónoma de México. 217 p.
- Guerrero L.; Ruiz P. 2012. El Cultivo de Plantas Aromáticas: Una Alternativa Agroindustrial para Comunidades Agrarias. Colegio de Postgraduados. México. 72p.
- Kubota, S.; Momose, H.; Yoneda, K.; Koshioka, M. 2010. *Lavandula x intermedia* is a vernalization type plant. JARQ 44:67-72.
- Lammerink, J.; Wallace, A.; Porter, N. 1989. Effects of harvest time and postharvest drying on oil from lavandin (*Lavandula x intermedia*). New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 17:315-326.
- López, X.; Bagisky, C.; Portilla, G. 1997. Caracterización del crecimiento y rendimiento de plantas de lavanda establecidas en la región central de Chile. Agricultura Técnica 57:113-121.
- Maganga, A. 2004. Influence of Variety and Organic Cultural Practices on Yield and Essential Oil Content of Lavender and Rosemary in Interior BC. South Thompson Organic Producers Association. 23 p. Ecorational Technologies, Kamloops, BC http://www.certifiedorganic.bc.ca/programs/osdp/OSDP-FinalReport_I-016.pdf
- MNS. 2011. Essential oils and oleoresins. Bulletin International Trade Centre. http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/MNS/essential_Oil_and_Oleoresins_Sample.pdf (revisado 5 de enero de 2013).
- Muñoz, L. 2002. Plantas Medicinales y Aromáticas: Estudio, Cultivo y Procesado. Ed. Mundi-Prensa. España. 365 p.

- Naiem, E.; El-Keltawi, N.; Croteau, R. 1987. Influence of foliar applied cytokinins on growth and essential oil content of several members of the Lamiaceae. *Phytochemistry* 26(4): 891-895.
- Nardi S.; Pizzeghello D.; Muscolo A.; Vianello A. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology & biochemistry*. 34: 1527-1536.
- Papafotiou, M.; Garavelos, E.; Chronopoulos, J. 2000. Effect of growing medium and fertilization on growth habitat and color of *Lavandula stoechas* L. *Acta Hort. ISHS* 541:349-351.
- Porter_N.; Shaw M. 1983. Increasing growing points and oil yields in lavender by growth regulator sprays. *J. Plant Growth Regul.* 2: 151-158.
- SAS Institute. 1994. The SAS system for Windows. Release 6.10. SAS institute. Cary, North Carolina, USA.
- Sangwan, N.; Farooqi, A.; Shabih, F.; Sangwan, R. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation* 34:3-21.
- Segura, L.; García, M.; Pascual, S.; Martínez, S.; Contreras, J. 2007. Effect on container-grown native plants fertilized with N, P and K by several methods. *Acta Hort. ISHS* 747:503-506.
- Sundria, C.; Pinol, M.; Palazon, J.; Cusido, R.; Vila, R.; Morales, C.; Bonfil, C.; Canigual, S. 1999. Influence of plant growth regulators on the growth and essential oil content of cultured *Lavandula dentate* plantlets. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 58:177-184.

CAPÍTULO II

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE ESENCIAL DE LAVANDA (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso)

FERTILIZATION EFFECTS ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE LAVENDER ESSENTIAL OIL (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso)

Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes esquemas de fertilización sobre el rendimiento y composición del aceite esencial de lavanda se evaluaron seis tratamientos: T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas. El diseño experimental establecido fue completamente al azar con arreglo factorial 2x3, con cuatro repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por tres plantas por repetición. Los resultados obtenidos muestran que la fertilización al suelo y la foliar no tuvieron efecto estadísticamente significativo sobre el rendimiento del aceite esencial de las hojas y flores en los dos años de producción. Los valores más altos de aceite esencial para la segunda cosecha fueron: en hoja 0.472 mg·g de materia seca y en flor 56.79 mg·g de materia seca. Los componentes mayoritarios en hoja fueron alcanfor y borneol, los valores más altos para el primero se presentaron con T3 (44.38 %) y para el segundo con T1 (16.50 %). Los componentes mayoritarios de flor fueron linalol y acetato de linalilo, los porcentajes más altos se dieron con T4 (33.92 y 32.40 %, respectivamente). La

aplicación de ácidos húmicos afectó los porcentajes de linalol y acetato de linalilo en T2 y T5, así como el rendimiento de aceite esencial en hoja del segundo año de producción.

Palabras clave: Planta aromática, caracterización fitoquímica.

Abstract

In order to evaluate the effect of different fertilization patterns on yield and composition of essential oil of lavender Six treatments were evaluated: T1, vermicompost; T2, vermicompost and humic acids; T3: vermicompost and phytohormones; T4: triple 17; T5: triple 17 and humic acids; T6: triple 17 and phytohormones. The experimental design was completely random set 2x3 factorial with four replications. The experimental unit consisted of three plants per replication. The results show that soil fertilization and foliar had no statistically significant effect on the yield of essential oil from the leaves and flowers in the two years of production. Higher values of essential oil for the second crop were: 0.472 mg · g leaf dry matter and flowers 56.79 mg · g dry matter. The major components were camphor and borneol sheet, the highest values for the first presented with T3 (44.38 %) and the second with T1 (16.50 %). The major components of flower were linalool and linalyl acetate, the highest percentages were given with T4 (33.92 and 32.40 %, respectively). Application of humic acids affected the percentages of linalool and linalyl acetate in T2 and T5, and the essential oil yield in the second year of leaf production.

Keywords: Aromatic plant, phytochemical characterization.

2.1. Introducción

Lavandula x intermedia var Grosso es un híbrido derivado de la cruce de *L. latifolia* x *L. angustifolia* y se caracteriza por producir rendimientos más altos de aceite esencial que sus

progenitores (Upson y Andrews, 2004). El aceite esencial de esta especie es valorada por su fuerte y agradable fragancia, principalmente utilizado en la industria cosmética para aromatizar perfumes, jabones, cremas, talcos, etc. También es apreciado en la industria alimenticia, de limpieza, farmacéutica y medicina alternativa. Además, en años recientes ha ganado una fuerte reputación en aromaterapia y como relajante holístico.

El aceite esencial de lavanda es una mezcla compleja de mono- y sesquiterpenos, alcoholes, esterres, óxidos y cetonas. Los componentes principales son los monoterpenos linalol, acetato de linalilo, 1,8-cineol y alcanfor (Woronut *et al.*, 2011). La proporción de estos compuestos determinan la calidad en el aceite esencial; si contiene altas concentraciones de linalol y acetato de linalilo se utiliza en perfumería; los que presentan monoterpenos con actividad biológica, como es el alcanfor son utilizados en la industria farmacéutica y alimenticia (Boeckelmann, 2008). La importancia que ha ganado comercialmente el aceite esencial de lavanda aunado a la variación en su composición, ha propiciado la estandarización por organismos internacionales, entre las que destacan las normas ISO, quienes establecen para lavandin 14 componentes mayoritarios, entre los que destacan acetato de linalilo (25 a 38 %), linalol (24 a 37 %), en menor medida alcanfor (6 a 8.5 %) y 1,8-cineol (4 a 8 %) (ISO/CD 8902, 2007).

La producción de metabolitos secundarios, como los monoterpenos, tienen una gran cantidad de funciones ecológicas, desde protección (contra depredadores y a condiciones extremas del clima), hasta para atraer polinizadores. Se sabe que son regulados principalmente por factores genéticos, aunque las condiciones ambientales y agronómicas también influyen en su producción (Ross y Sombrero, 1991); sin embargo, esa evidencia no existe para todas las especies, ni se conocen los

factores específicos que influyen directamente en el rendimiento del aceite esencial y/o en la concentración de los componentes del aceite esencial. Dentro de los factores agronómicos, la fertilización es determinante en la formación de metabolitos secundarios, tanto por el incremento en los rendimientos de biomasa por unidad de área, como por influir de manera específica en los procesos de producción de algunos compuestos químicos. Se ha demostrado el efecto de nitrógeno, fósforo y potasio sobre el rendimiento y calidad de aceites esenciales de menta, orégano, albahaca, manzanilla y cilantro (Basso *et al.*, 1998, Jeliaskova *et al.*, 1999; Nikolova *et al.*, 1999; Sifola y Barbierie, 2006, Carrubba y Ascolillo, 2009). Para la lavanda, existen pocas recomendaciones de fertilización para su cultivo, son los fertilizantes nitrogenados, los recomendados para esta especie por incrementar la producción de aceite esencial (Arabaci *et al.*, 2007; Curtis, 2006; Biesiada *et al.*, 2008).

El objetivo de esta investigación fue evaluar en términos cuantitativos y cualitativos el aceite esencial de lavanda obtenido de plantas cultivadas bajo seis esquemas de fertilización.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Material vegetal

Las inflorescencias y el follaje de dos cosechas se obtuvieron de plantas establecidas en el campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en Texcoco Edo. de México, bajo seis esquemas de fertilización: T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas; al momento del trasplante se incorporaron 400 g de vermicomposta por planta, mezclada con el suelo; 5 g-planta⁻¹ de NPK (17-17-17) alrededor de cada planta a un mes

de establecidas, posteriormente cada tres meses y los foliares cada dos semanas en las concentraciones recomendadas por la marca comercial. Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2x3, con cuatro repeticiones. Los factores evaluados fueron la fertilización al suelo y fertilización foliar. La unidad experimental estuvo constituida por tres plantas por repetición. Las inflorescencias fueron cosechadas cuando tenían la mitad de las flores abiertas, entre julio y septiembre; el follaje fue podado después de la floración.

2.2.2. Caracterización cuantitativa

El material fue secado durante 5 días a una temperatura de 35°C en una estufa LAB-Line. A partir de 5 g de inflorescencias secas y de 100 g de follaje seco, se realizó la extracción del aceite esencial por hidrodestilación con un aparato Clevenger de acuerdo al procedimiento estándar propuesto en la Pharmacopea Europea (1975) y descrito por Baydar y Erbas (2009). Se realizaron cuatro repeticiones. La concentración se expresa en mg·g de materia seca.

2.2.3. Caracterización cualitativa

La identificación se realizó en un Cromatógrafo de Gases HP6890 acoplado a un espectrómetro de masas HP-5973, bajo las siguientes condiciones: Columna HP 19091S-433 (30 m de longitud x .25 mm de diámetro interno y .25 μ grosor); la temperatura inicial del horno fue 60°C, se mantuvo por 5 minutos hasta llegar a 280°C, a un rango por minuto de 4°C; se utilizó Helio como gas acarreador, con un flujo de 1.0 ml·min⁻¹; 1 μ L de muestra diluida en hexano grado HPLC (1 μ L de muestra en 10 mL de hexano) fue inyectada al CG-SM; los compuestos

químicos del aceite esencial fueron identificados por comparación del espectro de masas, y los índices de retención con los datos reportados en la literatura.

2.2.4. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos de rendimiento del aceite esencial, se realizó análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), analizando los datos con el paquete estadístico SAS, versión 9.2 (SAS, 1994).

2.3. Resultados y discusión

2.3.1. Caracterización cuantitativa

No se observó efecto estadísticamente significativo ($P \leq 0.05$) de la fertilización al suelo, fertilización foliar, ni su interacción sobre el aceite esencial de hoja y flor del primer año de producción (Cuadro 1), ni para el aceite esencial de flor del segundo año de producción. Únicamente se observó efecto de la fertilización foliar en hoja de la segunda cosecha (Cuadro 2).

CUADRO 1. Valor de P del análisis de varianza de los factores de fertilización sobre la concentración de aceite esencial en plantas de lavanda, cosecha 2011.

Fuente de variación	Hoja	Flor
Fertilización al suelo	0.8000	0.1057
Fertilización foliar	0.4429	0.9205
Fertilización suelo x fertilización foliar	0.3935	0.3348

Significancia con $\alpha = 0.05$

CUADRO 2. Valor de *P* del análisis de varianza de los factores de fertilización sobre la concentración de aceite esencial en plantas de lavanda cosecha 2012.

Fuente de variación	Hoja	Flor
Fertilización al suelo	0.2728	0.8401
Fertilización foliar	0.0002	0.3263
Fertilización suelo x fertilización foliar	<.0001	0.6972

Significancia con $\alpha = 0.05$

No se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento del aceite esencial obtenido en el follaje podado después de la primer cosecha (Figura 1), los valores obtenidos oscilaron entre 0.0244 a 0.0465 mg·g⁻¹ (T4 y T5, respectivamente). En el follaje obtenido después de la segunda cosecha (2012), los rendimientos de aceite esencial si presentaron diferencias estadísticas; fueron T1, T3 y T4 los que dieron valores más altos y de estos en el T4 (triple 17 al suelo) se obtuvo 0.0472 mg·g⁻¹ de aceite esencial. Cabe destacar que los tratamientos a los que se les fertilizó con ácidos húmicos (T2 y T5) presentaron los valores más bajos de aceite esencial, disminuyendo hasta un 31.56 % comparado con T4.

En general, se obtuvo mayor rendimiento de aceite esencial durante el primer año; durante ese año la producción de flor fue muy baja y las plantas se encontraban en proceso de adaptación, situación que pudo generar estrés y por lo tanto una mayor producción de metabolitos secundarios.

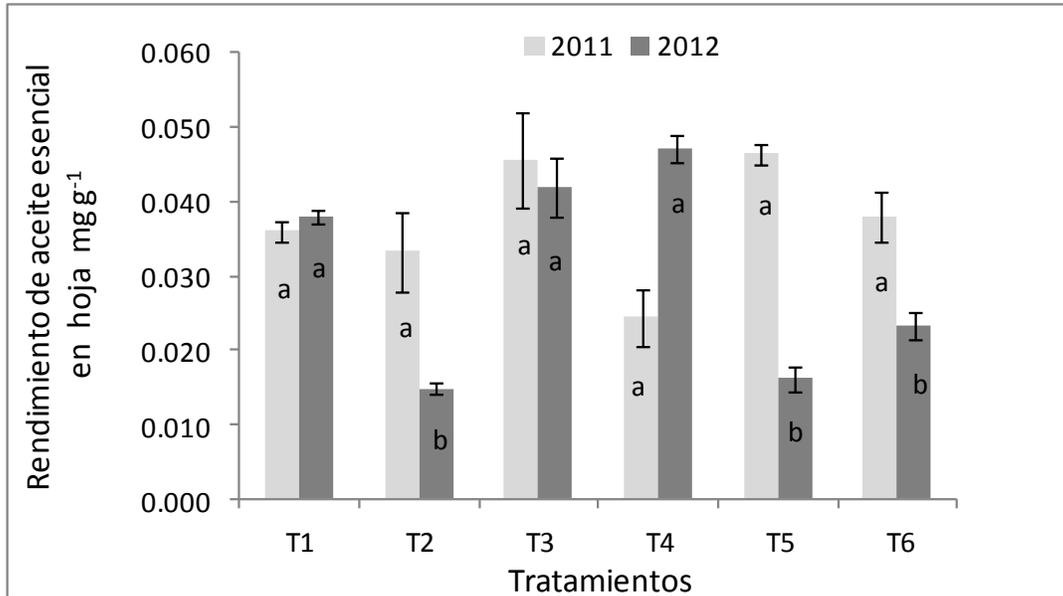


FIGURA 1. Rendimiento de aceite esencial en 1 g de follaje seco de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) \pm error estándar. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

En las inflorescencias no se encontraron diferencias significativas de tratamientos para los dos años de producción (Figura 2). Sin embargo, el tratamiento que presentó el valor más alto de aceite esencial en la primer cosecha fue al que se le agregó únicamente vermicomposta (T1) y el que presentó el valor más bajo fue al que se le agregó únicamente triple 17 (T4). Por otro lado, durante el segundo año de producción, los tratamientos que dieron los valores más altos, sin diferencias significativas, fueron: vermicomposta más ácidos húmicos (T2), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) con 56.79, 50.78 y 50.11 mg·g de materia seca respectivamente, contra 39.27 mg·g de materia seca con vermicomposta únicamente.

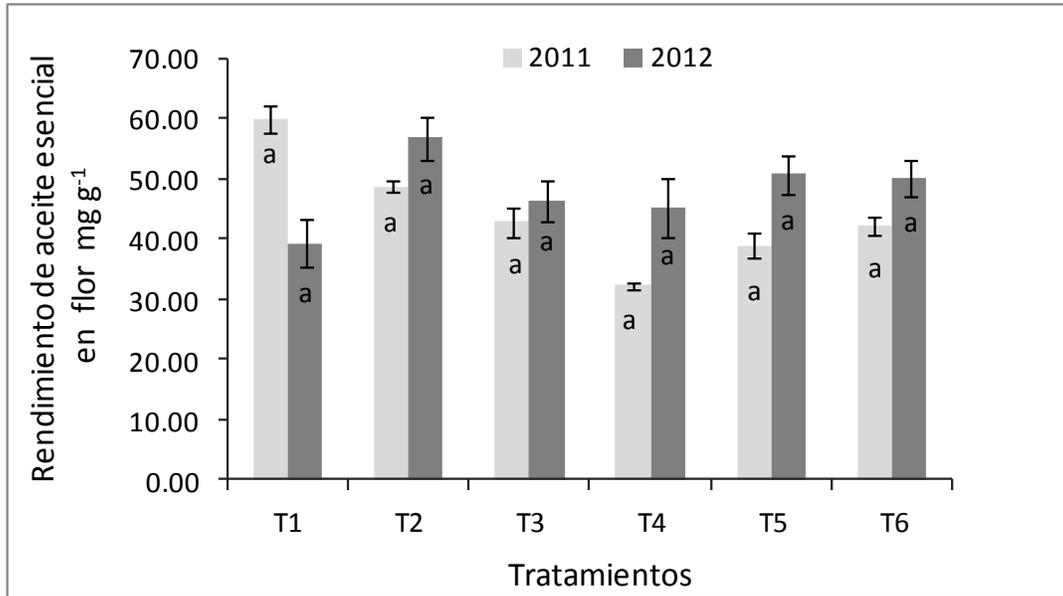


FIGURA 2. Rendimiento de aceite esencial en 1 g de flor seca de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) \pm error estándar. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

Los resultados superan las concentraciones encontradas por Arabaci *et al.* (2007), quienes para la segunda cosecha reportaron 23.64 mg·g en plantas no fertilizadas y 33.86 mg·g en plantas fertilizadas con nitrógeno; estos autores resaltan además, la influencia de la fertilización en la concentración de aceite esencial de lavanda. Por otro lado, los resultados aquí mostrados concuerdan con aquellos que Baydar y Kineci (2009) obtuvieron, ya que reportan 5.8% de aceite en la misma especie. A pesar de que no existe significancia estadística entre los tratamientos, y que la concentración de aceite esencial en el T6 no fue la más alta, al extrapolar este valor al número de inflorescencias por planta y por lo tanto a las toneladas de materia seca que se pueden

obtener con este tratamiento, la cantidad de aceite esencial se traducirá en una ganancia significativa para el productor.

2.3.2. Caracterización cualitativa

La fertilización determinó el número de componentes del aceite esencial, fueron los tratamientos con triple 17 más ácidos húmicos (T5) y con fitohormonas (T6) los que presentaron el mayor número de compuestos, tanto en las inflorescencias, como en el follaje (Cuadro 3 y 4). Los componentes mayoritarios para los tallos florales fueron linalol y acetato de linalilo (Figura 3a), en menor medida cineol, alcanfor y borneol. Se observó que la fertilización nitrogenada incrementó los porcentajes de linalol y acetato de linalilo en T4 y cuando se complementó con fitohormonas disminuyó ligeramente; sin embargo, la aplicación de ácidos húmicos en T5 provocó que disminuyera los porcentajes de linalol (57.7 %) y acetato de linalilo (77.2 %), y que aumentaran los de alcanfor (64 %) y borneol (52 %), también en T2 los ácidos húmicos provocaron valores bajos de estos compuestos. La fertilización nitrogenada con triple 17 en T4, arrojó los valores más altos de linalol y acetato de linalilo, ambos dentro de los límites establecidos por la norma ISO/CD 8902 (2007), así como alcanfor y borneol, lo que indica que este aceite esencial cumple con los estándares para ser usado en perfumería y cosmética. No sucede lo mismo con el aceite esencial obtenido de los tratamientos T3 y T6, que aunque presentan porcentajes altos de linalol y acetato de linalilo, los de alcanfor y borneol superaron los establecidos por la norma. Esto no significa que no sea de buena calidad, sino que el aceite esencial puede estar destinado a la industria alimenticia y farmacéutica (Sarker *et al.*, 2012). Estos resultados concuerdan con diversos autores, quienes mencionan los mayores porcentajes para linalol y acetato de linalilo (Bombarda *et al.*, 2008; Baydar y Herbas, 2009; Périno *et al.*,

2013). Los valores obtenidos de linalol y acetato de linalilo de los tratamientos T3, T4 y T6 concuerdan con los encontrados por Renaud *et al.* (2011), Woronut *et al.* (2011).

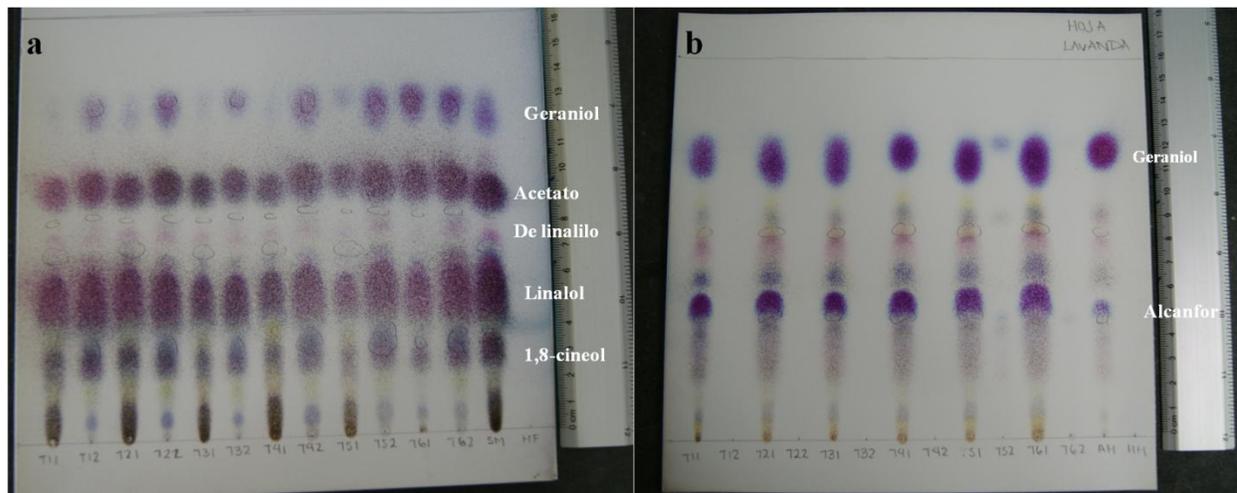


FIGURA 3. Cromatogramas del aceite esencial de flor (a) y hoja (b) de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1); vermicomposta más ácidos húmicos (T2); vermicomposta más fitohormonas (T3); triple 17 (T4); triple 17 más ácidos húmicos (T5); triple 17 más fitohormonas (T6). Cosecha 2012.

Aunque no existen investigaciones sobre el efecto de la fertilización en la concentración de linalol y acetato de linalilo, Arabaci y colaboradores (2007) manifiestan que estos compuestos pueden incrementar sus valores por la fertilización nitrogenada, o disminuirlos dependiendo de las condiciones ambientales y edáficas. Se ha demostrado por Basso *et al.* (1998) que un exceso de potasio incrementa la concentración de alcanfor en lavanda situación que puede explicar los valores altos de alcanfor en los tratamientos T4, T5 y T6 debido a la aplicación del fertilizante triple 17 (NPK) al suelo. También existen evidencias del efecto benéfico de aplicaciones foliares de hormonas en la producción de linalol (Bhattacharya y Rao, 1996; Rao *et al.*, 1992), situación que concuerda con los resultados encontrados en esta investigación al obtener los valores más

altos de este compuesto en los tratamientos cuya fertilización se complementó con fitohormonas (T3 y T6). El claro efecto de los ácidos húmicos en los porcentajes bajos de linalol y acetato de linalilo en T2 y T5, es la evidencia de que esta fertilización interfiere en la biosíntesis de dichos compuestos. Sin embargo, se requiere una investigación más profunda para determinar el proceso específico que es afectado.

CUADRO 3. Componentes del aceite esencial de las inflorescencias de lavanda cultivada con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5), triple 17 más fitohormonas (T6), no identificado (ni).

Compuesto	T1	T2	T3	T4	T5	T6
α -pineno	-----	-----	-----	-----	0.54	0.12
Camfeno	-----	-----	-----	-----	0.50	0.11
β -pineno	-----	-----	-----	-----	0.83	-----
Sabineno	0.11	-----	-----	0.13	-----	-----
Mirceno	-----	-----	-----	0.18	0.18	-----
Limoneno	-----	-----	-----	-----	0.37	-----
1,8-cineol	3.18	3.67	5.32	4.99	10.58	5.96
β -ocimeno	-----	0.17	-----	-----	-----	0.27
Acetato de 1-octen-3-ol	-----	-----	-----	-----	0.36	-----
Oxido de linalol	0.57	1.71	2.25	0.81	0.58	2.86
Fenchona	0.49	1.47	1.81	0.62	0.70	2.57
Linalol	23.95	16.02	32.21	33.92	7.73	26.56
Octen-1-ol, acetato cis-verbenol	0.49	0.61	0.97	0.76	0.13	1.04
Alcanfor	5.10	6.70	9.13	8.47	37.96	11.23
Borneol	2.00	2.08	3.62	3.35	12.43	3.82

ni	0.24	0.36	-----	-----	0.37	0.76
4-terpineol	1.12	0.50	1.00	1.65	0.58	0.88
ni	-----	-----	-----	-----	0.57	-----
Lavandulol	2.05	0.84	2.05	2.79	0.99	1.26
α -terpineol	0.29	0.69	0.86	0.12	0.82	1.40
ni	-----	-----	-----	-----	0.36	-----
Neril acetato	0.13	0.28	0.21	0.16	0.25	0.48
ni	0.09	-----	0.18	-----	0.24	0.16
Acetato de linalilo	21.78	17.87	29.46	32.40	6.48	26.36
Acetato de lavandulilo	2.03	0.57	2.03	3.02	1.13	2.14
Farneseno	0.15	1.13	0.76	-----	0.44	2.12
β -farneseno	0.23	1.68	1.17	0.17	0.52	2.41
ni	0.15	1.10	0.85	0.11	0.35	1.46
Acetato de nerilo	0.51	0.29	0.61	0.59	0.13	0.39
Acetato de geraniol	1.01	0.57	1.29	1.20	0.45	0.73
ni	-----	0.30	0.24	-----	-----	0.45
ni	-----	-----	-----	-----	0.20	-----
Naftaleno	0.20	0.16	0.13	0.63	-----	0.27
ni	0.17	0.14	-----	0.10	-----	0.20
ni	-----	0.12	0.10	-----	-----	0.50
Nerol	0.12	-----	0.21	0.33	2.38	-----
Cubenol	0.21	0.20	0.24	0.35	-----	0.23
Geraniol	0.57	1.07	1.44	0.64	1.55	1.07
ni	-----	-----	-----	-----	0.54	-----
Cariofileno	0.52	0.30	0.90	0.67	6.99	0.39
α -bisabolol	0.97	0.23	0.77	0.89	0.63	0.24
Total compuestos	28	28	27	26	34	31

En el follaje, los componentes mayoritarios fueron alcanfor, borneol, cineol, nerol, geraniol y epizonareno (Cuadro 4, figura 3b). Los valores presentes de alcanfor fueron similares para los seis tratamientos, entre 43.3 y 44.3 %; los porcentajes mayores de borneol y cariofileno se presentaron en plantas del T1 (16.5 y 10.6 %, respectivamente), para 1,8-cineol con T4 y T5 (11.8 y 11.4 %, respectivamente), y para nerol con T2 (2.3 %); cabe destacar que no se presentó cariofileno en T2. Linalol se presentó con valores abajo del 2 % y no hubo acetato de linalilo en ningún tratamiento.

Los resultados concuerdan con los encontrados por Muñoz *et al.*, 2007, Boeckelmann (2008) y Guitton *et al.*, 2010, quienes aseveran que los componentes mayoritarios del aceite esencial de las hojas son alcanfor y borneol, y que linalol se presenta en porcentajes mínimos. La distribución mayoritaria del linalol en las flores y del alcanfor en las hojas tiene funciones ecológicas, en las flores el linalol atrae polinizadores y en las hojas, el alcanfor protege de los patógenos y herbívoros (Boeckelmann, 2008; Sarker *et al.*, 2012),

CUADRO 4. Componentes del aceite esencial del follaje de lavanda cultivada con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5), triple 17 más fitohormonas (T6), no identificado (ni).

Compuesto	T1	T2	T3	T4	T5	T6
α -pineno	-----	0.16	0.24	0.30	0.50	0.29
Camfeno	-----	0.23	0.29	0.34	0.38	0.36
β -pineno	0.19	0.35	0.57	0.73	0.86	0.63
Sabineno	0.09	-----	0.13	-----	0.12	0.10

Mirceno	-----	-----	0.20	0.13	0.33	0.15
Limoneno	0.30	-----	0.60	0.60	0.53	0.46
1,8-cineol	8.39	8.49	10.96	11.80	11.45	10.65
Acetato de 1-octen-3-ol	0.55	-----	0.45	0.52	0.51	-----
Oxido de linalol	0.12	-----	0.16	-----	-----	0.15
Fenchona	0.15	-----	0.15	-----	-----	0.15
Linalol	1.44	1.72	2.12	1.48	1.25	1.31
Verbenol	0.23	0.22	-----	0.22	0.19	0.20
<i>cis</i> -sabinol	-----	0.85	-----	0.80	-----	-----
Alcanfor	43.88	44.36	44.38	43.38	43.31	43.59
ni	-----	0.94	-----	0.78	^{0.77}	0.70
ni	0.68	0.51	0.51	0.61	0.58	0.52
Borneol	16.50	14.48	14.50	14.52	13.63	14.23
ni	0.36	-----	0.33	-----	0.36	0.38
4-terpinol	0.47	0.40	0.54	0.39	0.42	0.44
ni	0.78	0.92	0.80	0.78	0.79	0.77
ni	0.70	0.62	0.55	0.50	0.48	0.49
Lavandulol	-----	0.60	0.58	0.54	0.50	0.58
ni	0.92	0.63	0.62	0.65	0.68	0.65
ni	0.54	0.55	0.46	0.47	0.54	0.49
Acetato de nerilo	0.25	-----	0.22	0.21	0.22	0.22
ni	0.36	0.41	0.39	-----	0.38	-----
ni	0.26	0.33	0.81	0.28	0.26	0.23
Acetato de lavandulilo	1.00	0.23	1.02	0.22	0.89	0.93
Acetato de geraniol	0.22	0.32	0.29	0.28	0.21	0.23
ni	0.20	0.33	0.27	0.24	0.24	0.25
Nerol	4.12	4.78	3.30	3.76	3.88	3.55
Geraniol	2.44	2.22	1.98	2.09	2.00	2.08
ni	0.34	0.27	-----	0.24	0.25	0.27
ni	0.13	-----	0.13	-----	0.13	0.13

ni	1.00	0.95	0.86	0.83	0.88	0.96
Cariofileno	10.63	-----	9.14	9.30	9.57	10.57
α -bisabolol	0.96	0.87	0.76	0.73	0.94	0.85
Total de compuestos	30	27	31	31	34	33

2.4. Conclusiones

La fertilización no afectó el rendimiento de aceite esencial, se obtiene mayor rendimiento de éste con T6 por los volúmenes de producción de inflorescencias; además fue con T6 también que se presentaron los porcentajes más altos de linalol y acetato de linalilo. La aplicación de ácidos húmicos afectó el rendimiento de aceite esencial en el follaje y la producción de linalol y acetato de linalilo en el aceite esencial de flor.

2.5. Bibliografía

- Arabaci, O.; E. Bayram, H.; Baydar, F. Savran; T. Karadogan; N. Ozay. 2007. Chemical Composition, Yield and Contents of Essential Oil of *Lavandula hybrid* Reverchon Grown under Different Nitrogen Fertilizer, Plant Density and Location. Asian Journal of Chemistry 19(3):2184-2192.
- Bhattacharya A.K.; Rao B.R.R. 1996. Effect of triacontanol and mixtalol on rose scented geranium (*Pelargonium spp.*). J. Essential. Oil. Res. 8: 383–388.
- Basso F.; Pisante, M.; Basso, B. 1998. Agronomical aspects of officinal plant cultivation. Phytotherapy Research 12: 131-134.
- Baydar, H.; S. Erbas. 2009. Effects of Harvest Time and Drying on Essential Oil Properties in Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). Acta Hort. ISHS 826: 377-382.

- Baydar, H.; S. Kineci. 2009. Scent composition of essential oil, concrete, absolute and hydrosol from lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.). *Jeobp* 12(2):131-136.
- Biesiada, A.; Letowska S.; Kucharska, A. 2008. The effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 7(2):33-40.
- Boeckelmann A. 2008. Monoterpene production and regulation in Lavenders (*Lavandula angustifolia* and *Lavandula x intermedia*). Thesis University of British Columbia, Okanagan. 96p.
- Bombarda I.; Dupuy N.; Le van da J.; Gaydou E. 2008. Comparative chemometric analyses of geographic origins and compositions of lavandin var. Grosso essential oils by mid infrared spectroscopy and gas chromatography. *Analytica Chimica Acta*. 613: 31-39.
- Carrubba, A.; Ascolollo, V. 2009. Effects of organic and chemical N-fertilization on yield and morphobiological features in coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Acta Hort. ISHS* 826:35-42.
- Curtis, B. 2006. Growing and Marketing Lavender. *Farming the Northwest Series* EB2005. 28 p. Washington State University Extension.
- Guitton Y.; Nicole F.; Moja S.; Valot N.; Legrand S.; Jullien F.; Legendre L. 2010. Differential accumulation of volatile terpene and terpene synthase mRNAs during lavender (*Lavandula angustifolia* and *L. x intermedia*) inflorescence development. *Physiologia Plantarum*. 138: 150-163.
- ISO/CD 8902. 2007. Oil of Lavandin Grosso [(*Lavandula angustifolia* Miller x *Lavandula latifolia* (L.f.) edikus)], French Tipe. AENOR.

- Jeliazkova, E.; Zheljazkov, V.; Craker, L.; Yankov, B.; Georgieva, T. 1999. NPK fertilizer and yields of peppermint, *Mentha x piperita*. Acta Hort. ISHS 502: 231-236.
- Muñoz B.; Arrillaga I.; Segura J. 2007. Essential oil variation within and among natural populations of *Lavandula latifolia* and its relation to their ecological areas. Biochemical Systematics and Ecology. 35: 479-488.
- Nikolova, A.; Kozhuharova, K.; Zheljazkov, V.; Craker, L. 1999. Mineral nutrition of chamomile (*Chamomilla recutita* (L.) K. Acta Hort. ISHS 502: 203-208.
- Périno I.; Ginies Ch.; Cravotto G.; Chemat F. 2013. A comparison of essential oils obtained from lavandin via different extraction processes: Ultrasound, microwave, turbohydrodistillation, steam and hydrodistillation. Journal of Chromatography 1305: 41-47.
- Renaud E.; Charles D.; Simon J. 2011. Essential oil quantity and composition from 10 cultivars of organically grown lavender and lavandin. J. Essent. Oil Res. 13: 269-273.
- Ross, J.D.; C. Sombrero. 1991. Environmental Control of Essential Oil Production in Mediterranean plants. Ecological Chemistry and Biochemistry of Plant Terpenoids, pp: 83–94. Clarendon Press, Oxford.
- Sarker S.; Galata M.; Demissie A.; Mahmoud S. 2012. Molecular cloning and functional characterization of borneol dehydrogenase from the glandular trichomes of *Lavandula x intermedia*. Archives of Biochemistry and Biophysics. 528: 163-170.
- SAS Institute. 1994. The SAS system for Windows. Release 6.10. SAS institute. Cary, North Carolina, USA.
- Sifola, M.; Barbieri, G. 2006. Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different levels of nitrogen in the field. Scienta Horticulturae 108:408-413.
- Upson, T.; S. Andrews (2004). *The genus Lavandula*. (1st ed.). Timber Press, Inc., USA.

Woronuk G.; Demissie Z.; Rheault M.; Mahmoud S. 2011. Biosynthesis and therapeutic properties of *Lavandula* essential oil constituents. *Planta Med.* 77: 7-15.

CAPÍTULO III

ACTIVIDAD BIOCIDA DEL ACEITE ESENCIAL E HIDROLATO DE LAVANDA

(*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso)

BIOCIDA ACTIVITY OF LAVENDER (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var.

Grosso) ESSENTIAL OIL AND HYDROLATS

Resumen

Se evaluó la actividad *in vitro* del aceite esencial de lavanda contra *Pseudomonas* spp y la actividad *in situ* del hidrolato obtenido del follaje contra mosca blanca. En los ensayos *in vitro* el aceite esencial probado fue el obtenido de cada tratamientos de fertilización, en tres concentraciones (100, 50 y 25 %) más el testigo y un control absoluto con un bactericida comercial. Para los ensayos *in situ* se utilizó hidrolato y aceite esencial obtenido de la destilación del follaje, los tratamientos fueron: hidrolato al 100 % (H100), al 50 % (H50), al 25 % (H25) y el testigo (0 %), a los tratamientos con hidrolato se les agregó 1.5 mL·L de aceite esencial de hoja. Ambos ensayos se establecieron en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones, *in vitro* se midió el halo de inhibición de *Pseudomonas* spp e *in situ* se contabilizaron las ninfas y adultos vivos de mosca blanca. Los resultados arrojaron un efecto de todos los tratamientos con aceite esencial sobre el crecimiento de *Pseudomonas* spp. Con hidrolato la eficacia fue del 44.25 % para el día 7 con H50 y 72.34 % hasta el día 15 con H25; en los adultos de mosca blanca la eficacia arriba de 44.07 % se observó en todos los tratamientos

desde el día 7, excepto con H25; el porcentaje más alto de eficacia fue 92.96 %, se presentó con H25 al día 15.

Palabras clave: Biomoléculas, manejo fitosanitario, plagas y enfermedades.

Abstract

In vitro lavender essential oil activity against *Pseudomonas* spp and *in situ* with hydrolate foliage against whitefly activity was evaluated. *In vitro* tests proved essential oil was obtained from each fertilization treatments in three concentrations (100, 50 and 25%) over the control and an absolute control with a commercial bactericide. For the *in situ* trials hydrolate and essential oil obtained by distillation of the foliage is used, the treatments were: hydrolate 100% (H100), 50% (H50), 25% (H25), plus the control (0%), the treatments with hydrolate added 1.5 mL · L leaf essential oil. Both trials were established in completely randomized experimental design with four replications, in halo inhibition of *Pseudomonas* spp was measured, and live nymphs and adult whiteflies were counted. The results showed an effect of all treatments with essential oil on the growth of *Pseudomonas* spp. With hydrolate efficacy was 44.25% for 7th with H50 and 72.34% to the 15th with H25; in adult whitefly efficiency above 44.07% was observed in all treatments from day 7, except H25; the highest percentage of efficacy was 92.96%, H25 was presented with the 15th.

Keywords: Biomolecules, plant management, pests and diseases.

3.1. Introducción

La evolución ha dotado a las plantas de compuestos químicos que le sirven para comunicarse con otras especies, para defenderse y cómo protección. Se han identificado numerosas moléculas que

presentan una acción defensiva del vegetal contra insectos y microorganismos perjudiciales (Philogéne *et al.*, 2004). A través de prácticas empíricas, las primeras observaciones científicas y la preocupación por proteger los cultivos de organismos dañinos inició la historia de los productos fitosanitarios a partir de plantas. Las primeras generaciones de plaguicidas vegetales fueron obtenidas a partir de plantas de uso tradicional, destacan los alcaloides del tabaco, rotenoides, piretrinas, aceites vegetales y azadiractina.

Entre los compuestos más estudiados actualmente, se encuentran los aceites esenciales formados principalmente por monoterpenos y fenoles que poseen enorme actividad biológica probada contra un sinnúmero de organismos; las investigaciones sobre estos compuestos han sido útiles para la industria farmacéutica y de alimentos, donde son utilizados precisamente por estas propiedades biológicas (Kalemba *et al.*, 2009). Se ha demostrado su actividad repelente o neurotóxica contra insectos; además no son tóxicos para mamíferos, son de baja persistencia y están aprobados para la agricultura biológica (Isman, 2004).

Innumerables son las especies que presentan aceite esencial con actividad biológica, pero son las especies de la familia Lamiaceae de las más estudiadas, dentro de esta familia se encuentra la lavanda, cuyo aceite esencial ha sido usado cosméticamente y terapéuticamente por siglos (Cavanagh y Wilkinson, 2002). Además, las investigaciones han probado su actividad antimicrobiana (Soylu *et al.*, 2006; Bralewski *et al.*, 2007; Moon *et al.*, 2007), herbicida (Argyropoulos *et al.*, 2008; Haig *et al.*, 2009) e insecticida (Perruci *et al.*, 1996; Cavanagh y Wilkinson, 2002; Pavela 2005; Manzoomi *et al.*, 2010). El aceite esencial de esta especie es obtenido por arrastre con vapor de agua y en el proceso se obtiene también un producto llamado hidrolato, hidrosol o agua florada.

Se ha demostrado que los hidrolatos también contienen compuestos aromáticos con grandes propiedades organolépticas y antimicrobianas, razón por la que son también utilizados en la industria cosmética, alimenticia y de bebidas (Paolini *et al.*, 2008; Smigielski *et al.*, 2013).

Por otro lado, México se encuentra entre los principales productores y exportadores de hortalizas en el mundo, entre las hortalizas más rentables económicamente destaca jitomate (*Solanum lycopersicum*), la producción en 2012 alcanzó poco más de un millón de toneladas en 60 000 ha cultivado principalmente en invernadero (SIAP, 2014).

Este cultivo se ve afectado por una gran variedad de plagas y enfermedades que merman la calidad y producción, entre las enfermedades más importantes se encuentra la peca y mancha bacteriana causada por *Pseudomonas syringae* (Okabe), que se manifiesta con manchas negras sobre hojas, pecíolos, tallos y frutos (CESAVEG, 2014); el género *Pseudomonas*, por su capacidad de vivir bajo diversas condiciones ambientales se puede encontrar también como patógeno de otras plantas, animales y humanos; las cepas de esta especie son frecuentemente resistentes a antibióticos, desinfectantes, detergentes, metales pesados y solventes orgánicos (Ruiz Martínez, 2007; Luján *et al.*, 2008). Otro organismo que afecta el cultivo de jitomate es la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*), un insecto polífago considerado una de las plagas de mayor dificultad de manejo en los cultivos hortícolas bajo cubierta porque tiene una gran capacidad de reproducción en un corto período de tiempo, ocasionando principalmente debilitamiento, contaminación de frutos y transmisión de virus, provocando pérdidas económicas importantes (CESAVEG, 2014).

El control de mosca blanca y *Pseudomonas* spp es una actividades difícil en horticultura, sobre todo la primera porque se utilizan plaguicidas convencionales a base de organofosforados, carbamatos, nicotinoideas, piretroides y otros productos químicos que causan acumulación de residuos tóxicos, inducción de resistencia, alteración del equilibrio de ecosistemas, eliminación de enemigos naturales y riesgos de intoxicación para las personas que los manipulan y consumen (Cortés, 2011; Regnault *et al.*, 2012; Ringuelet *et al.*, 2012).

Ante esta perspectiva, se plantea la siguiente investigación que propone determinar la actividad biológica del aceite esencial e hidrolato de lavanda para el manejo fitosanitario de plagas y enfermedades en el cultivo de jitomate.

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Obtención de hidrolato y aceite esencial.

El aceite esencial para los ensayos contra *Pseudomonas* spp, se obtuvieron de las inflorescencias obtenidas de plantas cultivadas bajo seis esquemas de fertilización: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas; T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas. El hidrolato se obtuvo de la destilación del follaje secado a la sombra de plantas de lavanda cultivadas con triple 17 y fitohormonas (T6), el proceso se realizó por arrastre con vapor de agua en un destilador de acero inoxidable de 10 galones de capacidad.

3.2.2. Caracterización fitoquímica

La composición química de los aceites esenciales e hidrolatos se obtuvo al correr las muestras en un Cromatógrafo de Gases marca HP6890 acoplado a un espectrómetro de masas marca HP-5973. La identificación de los componentes estuvo basada en la comparación de su espectro de masas y la base de datos del espectrómetro. El análisis se realizó utilizando las condiciones propuestas por Baydar y Kineci (2009): Columna HP 19091S-433, de 50 m de longitud x .32 mm de diámetro interno y .25 μ grosor de la fase estacionaria; la temperatura inicial del horno fue 60°C, se mantuvo por 5 minutos hasta llegar a 220°C, a un rango por minuto de 10°C; se utilizó Helio como gas acarreador, con un flujo de 20.0 ml·min⁻¹; se inyectó 1 μ L de muestra de aceite esencial diluida en hexano grado HPLC (1 μ L de muestra en 10 mL de hexano); linalol y acetato de linalilo fueron los estándares utilizados; los compuestos se identificaron por comparación del espectro de masas, y los índices de retención con los datos reportados en la literatura.

3.2.3. Bioensayos *in vitro*

Se realizaron en el laboratorio de fitoquímica del Colegio de Postgraduados, contra *Pseudomonas* spp. En cajas petri de 9 cm de diámetro, previamente esterilizadas y con medio de cultivo papa destroza agar (PDA), se adicionó 70 μ l del cultivo de *Pseudomonas* spp. Se establecieron cuatro tratamientos más el testigo (tres concentraciones de aceite esencial: 25, 50 y 100% y un bactericida comercial). Se impregnaron discos de papel filtro de 5 mm de diámetro con cada concentración del producto a evaluar. Las cajas se incubaron a 25 °C por tres días. Se midió el halo inhibitorio (diámetro) de la bacteria (mm) con un vernier diariamente desde las 24 horas de establecido el ensayo. Se realizaron cuatro repeticiones en un diseño completamente al azar.

3.2.4. Bioensayos *in situ*

El experimento se realizó en un invernadero del campus Montecillo del Colegio de Postgraduados en Texcoco, Edo. de México. Los tratamientos utilizados fueron los siguientes: T1 (Hidrolato al 100% más 1 mL·L de aceite esencial), T2 (Hidrolato al 50% más 1 mL·L de aceite esencial) y T3 (Hidrolato al 25% más 1 mL·L de aceite esencial), TA (Testigo absoluto, sin aplicación). Se evaluaron las dosis propuestas en un cultivo de jitomate al inicio de la fructificación (60 DDT) inoculado con mosca blanca, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae) y separando los tratamientos con malla (Figura 1). Las aplicaciones se realizaron con una bomba agrícola asperjando homogéneamente toda la planta, la primera se realizó a los 10 días cuando la infestación por moscas estuvo distribuida de manera uniforme en todo el sitio experimental y una segunda aplicación se realizó una semana después de la primera. Posterior a la primera aplicación se realizaron evaluaciones de la eficacia a los 7 y 14 días, contabilizando el número de adultos y ninfas vivas. La aplicación se realizó con una aspersora, anotando el gasto de agua. Se realizó un muestreo previo para conocer la densidad poblacional de la plaga en el sitio experimental. Para evaluar la efectividad de los productos en el control de insectos patógenos, se utilizó como parámetro el número promedio de formas móviles de ninfas y adultos por campo de lupa en 7 foliolos por unidad experimental. Una vez calculados los promedios de moscas vivas, se obtuvo el porcentaje de eficacia con la fórmula de Abbott (1925). El diseño experimental fue completamente al azar. Cada unidad experimental estuvo constituida por 20 plantas, se realizaron cuatro repeticiones, cada unidad experimental se cubrió con malla.



FIGURA 1. Ensayo en invernadero de hidrolato de lavanda contra mosca blanca en un cultivo de jitomate.

3.2.5. Análisis estadístico

Con los datos obtenidos de organismos vivos y halo de inhibición se realizó análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), analizando los datos con el paquete estadístico SAS, versión 9.2 (SAS, 1994).

3.2.6. Evaluación toxicidad del producto

La posible fitotoxicidad de los tratamientos con hidrolato hacia el cultivo de jitomate se evaluó en forma visual, empleando la escala EWRS (Cuadro 1), tomando como punto de comparación el testigo absoluto.

CUADRO 1. Escala de puntuación EWRS para evaluar el efecto fitotóxico de aceites esenciales lavanda.

<i>Valor</i>	<i>Efecto sobre el cultivo</i>	<i>% de fitotoxicidad al cultivo</i>	
1	Sin efecto	0.00	1.00
2	Síntomas muy ligeros	1.00	3.50
3	Síntomas ligeros	3.50	7.00
4	Síntomas que no se reflejan en el rendimiento	7.00	12.50
5	Daño medio	12.50	20.00
6	Daños elevados	20.00	30.00
7	Daños muy elevados	30.00	50.00
8	Daños severos	50.00	99.00
9	Muerte completa	99.00	100.00

3.3. Resultados y discusión

3.3.1. Caracterización fitoquímica de aceite esencial e hidrolato

Los componentes mayoritarios en el aceite esencial de flor se presentan en el Cuadro 2, fueron linalol y acetato de linalilo los que presentaron el mayor porcentaje en todos los tratamientos de fertilización, excepto en los que se complementaron con ácidos húmicos (T2 y T5). Los porcentajes de alcanfor de los tratamientos fertilizados con vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T5) y triple 17 más fitohormonas (T6) superan los estándares propuestos por la industria de cosméticos y perfumería, sobre todo T5 que presentó 446.5 % más que el límite establecido por la norma, en este tratamiento el borneol también se presentó 355.1 % arriba (ISO/CD 8902, 2007)

CUADRO 2. Porcentajes de los compuestos mayoritarios del aceite esencial de plantas de lavanda cultivadas con vermicomposta (T1), vermicomposta más ácidos húmicos (T2), vermicomposta más fitohormonas (T3), triple 17 (T4), triple 17 más ácidos húmicos (T4), triple 17 más fitohormonas (T6).

Compuesto	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1,8-cineol	3.18	3.67	5.32	4.99	10.58	5.96
Linalol	23.95	16.02	32.21	33.92	7.73	26.56
Alcanfor	5.10	6.70	9.13	8.47	37.96	11.23
Borneol	2.00	2.08	3.62	3.35	12.43	3.82
Lavandulol	2.05	0.84	2.05	2.79	0.99	1.26
Acetato de linalilo	21.78	17.87	29.46	32.40	6.48	26.36

La composición del hidrolato más el 1.5 mL·L de aceite esencial se presenta en el Cuadro 3. Se observan cuatro componentes totales para el tratamiento H25 (hidrolato al 25 %) y cinco compuestos para los tratamientos H50 y H100 (hidrolato al 50 y al 100 %, respectivamente). Alcanfor fue el compuesto que se presentó en mayor porcentaje en los tres tratamientos, con porcentajes que oscilaron entre 79.1 y 86 %, seguido de 1,8-cineol y α -terpineol. Cabe destacar que al igual que en el aceite esencial de follaje, no se presentó linalol, ni acetato de linalilo.

Estos resultados concuerdan con los de Baydar y Kineci (2009) quienes encontraron alcanfor, borneol, 1,8-cineol y geraniol como componentes mayoritarios del hidrolato de *L. x intermedia* y con los obtenidos por Paolini *et al.* (2008) que establecen que 1,8-cineol, alcanfor, borneol y α -terpineol se encuentran en altas proporciones en el hidrolato, cuando se encuentra en el aceite esencial. La composición volátil de los hidrolatos ha sido poco estudiada, se tienen evidencias

que sus componentes mayoritarios son generalmente los mismos presentes en la fracción oxigenada del aceite esencial correspondiente (Kaloustian *et al.*, 2008; Paolini *et al.*, 2008).

CUADRO 3. Porcentaje de compuestos en hidrolato de follaje de lavanda.

Compuesto	H25	H50	H100
1,8-cineol	7.28	8.95	8.8
Alcanfor	80.06	86.02	79.19
Borneol	1.04	0.8	-----
α -terpineol	3.40	3.64	4.59
Acetato de geraniol	-----	-----	5.98
α -bisabolol	-----	0.57	1.14

3.3.2. Ensayos *in vitro*

Los resultados muestran que aunque no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos establecidos, en todos excepto en el testigo, se presenta inhibición arriba de 7.75 mm (Cuadro 4, figura 2). A medida que aumentó la concentración de aceite esencial, se incrementó el zona de inhibición, salvo con T1 que al 25 % presentó 10.75 mm de inhibición. Por otro lado, cuando se compara el efecto de los tratamientos contra el control (bactericida comercial), se encontró que los tratamientos T4 y T6 al 50 %, T2, T4 y T6 al 100 % tuvieron un efecto similar o superior al mostrado por el control. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Adaszyriska *et al.*, 2013, quienes encontraron 9.5 y 10 mm de inhibición en el crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa* con aceite esencial de *L. angustifolia* y superan los encontrados por Sokovic *et al.*, 2010, de tan solo 6.0 mm de inhibición.

CUADRO 4. Zona de inhibición, expresado en mm, sobre el crecimiento de *Pseudomonas* spp del aceite esencial de inflorescencias de lavanda con diferentes esquemas de fertilización.

Tratamiento ¹	Testigo	Aceite esencial 25%	Aceite esencial 50%	Aceite esencial 100%	Control ²
T1	0.00a	10.75a	12.00a	13.50a	14.25a
T2	0.00a	8.25a	10.00a	12.75a	12.00a
T3	0.00a	8.00a	9.75a	11.75a	12.25a
T4	0.00a	8.00a	10.00a	11.00a	10.00a
T5	0.00a	7.75a	10.00a	11.50a	14.25a
T6	0.00a	8.25a	12.75a	13.25a	12.25a

¹ T1: vermicomposta; T2: vermicomposta más ácidos húmicos; T3: vermicomposta más fitohormonas; T4: triple 17; T5: triple 17 más ácidos húmicos; T6: triple 17 más fitohormonas.

²Control: bactericida comercial Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

Estudios han demostrado que linalol, el componente mayoritario del aceite esencial, es el responsable de inhibir el crecimiento de bacterias gram-positivas y gram-negativas (Pattnaik *et al.*, 1997) y es considerado por Dorman *et al.*, 2000, como un fuerte agente microbiano. También Blazekovic *et al.*, 2011, le atribuyen a este compuesto y al acetato de linalilo, obtenido de *Lavandula x intermedia*, fuerte actividad antibacterial y antifúngica mostrada en sus ensayos. Existe la hipótesis de que el poder antibacterial de linalol se debe a su alta solubilidad en agua, característica que le da la propiedad de penetrar las paredes celulares de las bacterias (Suppakul *et al.*, 2003).

Sin embargo, no solo a linalol y acetato de linalilo se le atribuyen propiedades antibacteriales, también se ha demostrado que el alcanfor y borneol tienen estas propiedades (Sivropoulou *et al.*,

1997; Santoyo *et al.*, 2005), asimismo la presencia de alcanfor y 1-8, cineol presenta actividad contra algunos hongos y bacterias, lo que lleva a inferir que alcanfor puede actuar en sinergia con otros compuestos para expresar su actividad antimicrobiana (Viljoen *et al.*, 2003).

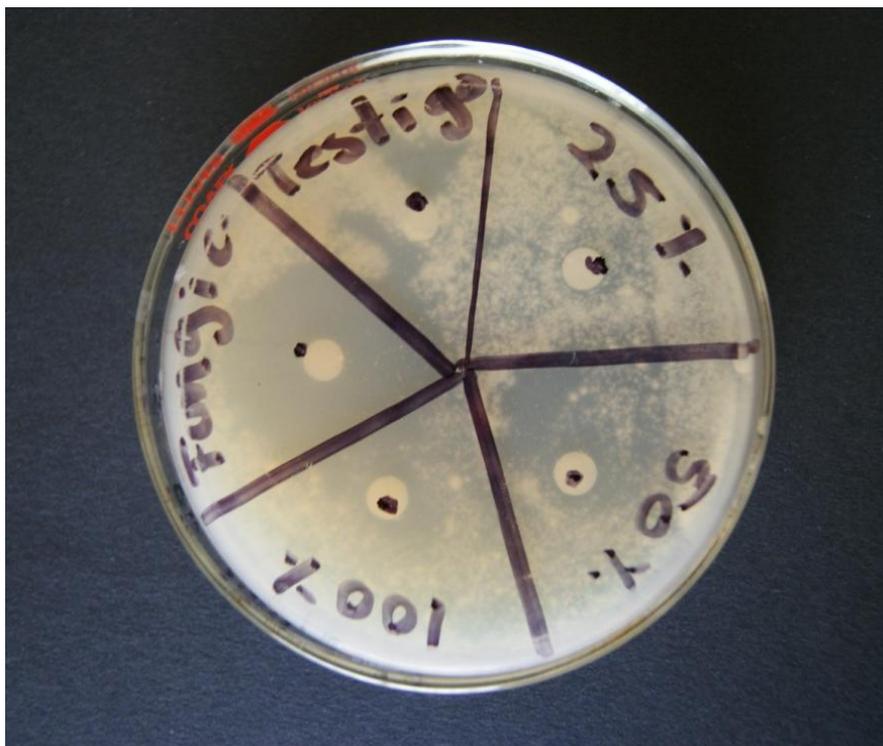


FIGURA 2. Efecto del aceite esencial de lavanda sobre el crecimiento de *Pseudomonas* spp.

3.3.3. Ensayos *in situ*

La presencia de ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood) se presentaron desde el muestreo inicial y primera aplicación (Cuadro 5, figura 3), al segundo conteo y aplicación (día 7) incrementaron su presencia 20 % el testigo, 22 % con H25 y 71 % con H100, se redujo 31.5 % con la aplicación de hidrolato al 50 %. Para el día 15, el tercer conteo el incremento se presentó para el testigo (10.5 %) y para el tratamiento H50 (39 %), con hidrolato

al 25 % disminuyeron el número de ninfas un 65.3 %. Por otro lado, la presencia de adultos se incrementó en el testigo un 60 y 34.7 % a los 7 y 14 días, respectivamente (Cuadro 6). Aunque para la primera semana incrementaron ligeramente con todos los tratamientos H25 y H50 (9 y 2 %, respectivamente), para la segunda semana disminuyeron hasta 91 % con la aplicación de hidrolato al 25 %. Esa misma tendencia se presentó con hidrolato al 100 %, un incremento a la primera semana y una reducción en el número de adultos vivos del 50 % para el día 15. No se observó efecto fitotóxico en ningún muestreo.



FIGURA 3. Infestación de adultos y ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*).

CUADRO 5. Ninfas vivas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood) en el muestreo previo (Día 1) y los posteriores a los 7 y 15 días.

Tratamiento¹	Día 1	Día 7	Día 15
T	3.40a	4.09a	3.76a
H25	3.00a	3.66a	1.04a
H50	3.33a	2.28a	4.66a
H100	3.33a	5.71a	5.71a

¹T: testigo sin aplicación; H25: hidrolato al 25 % más 1.5 mL·L aceite esencial; H50: hidrolato al 50 % más 1.5 mL·L aceite esencial; H100: hidrolato al 100 % más 1.5 mL·L aceite esencial. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

CUADRO 6. Adultos vivos de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*, Westwood) en el muestreo previo (Día 1) y los posteriores a los 7 y 15 días.

Tratamiento¹	Día 1	Día 7	Día 15
T	0.95a	1.52a	1.28a
H25	1.09a	1.19a	0.09b
H50	0.42a	0.85a	0.52b
H100	0.38a	0.52a	0.19b

¹T: testigo sin aplicación; H25: hidrolato al 25 % más 1.5 mL·L aceite esencial; H50: hidrolato al 50 % más 1.5 mL·L aceite esencial; H100: hidrolato al 100 % más 1.5 mL·L aceite esencial. Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $P \leq 0.05$).

El porcentaje de eficacia de Abbott (1925) arrojó valores arriba de 44 % en el conteo a los siete días posteriores a la primera aplicación (Cuadro 7), tanto para ninfas cómo para adultos con hidrolato al 50 %, cuando se incrementó la concentración a 100 % (H100) el porcentaje de eficacia incrementó un 65.7 % en los adultos. En la evaluación posterior a la segunda aplicación (15 días) el porcentaje de eficacia del hidrolato al 25 % fue de 72.3 % en ninfas y de 92.96 % en

adultos; sin embargo, cuando se aumentó la concentración del hidrolato al 50 % la eficacia disminuyó. H100 solo presentó efecto contra adultos.

CUADRO 7. Porcentaje eficacia Abbot (1925) de los tratamientos aplicados sobre las ninfas y adultos vivos.

Tratamiento ¹	7 días		15 días	
	Ninfas	Adultos	Ninfas	Adultos
H25	10.51	21.71	72.34	92.96
H50	44.25	44.07	43.93	56.37
H100	-39.60	65.78	-51.86	85.15

¹H25: hidrolato 25 % más 1.5 mL·L aceite esencial; H50: hidrolato 50 % más 1.5 mL·L aceite esencial; H100: hidrolato 100 % más 1.5 mL·L aceite esencial.

Se ha comprobado la actividad insecticida de algunos aceites esenciales sobre la mosca blanca (*T. vaporariorum*), los resultados han sido variables según el tipo de esencia, las dosis y el estado de desarrollo de los insectos, entre los más efectivos se encuentran menta, laurel, tomillo, gengibre, lemon grass y laurel (Ringuelet *et al.*, 2012). Los resultados aquí encontrados son similares con los obtenidos para el aceite esencial de lemongrass y laurel que presentaron una eficacia de 44 y 42 %, respectivamente (Ringuelet *et al.*, 2012). Por otro lado, no se tienen evidencias sobre la acción de hidrolatos contra insectos, aunque debido a la presencia de algunos componentes con actividad biológica pueden tener la misma actividad que el aceite esencial, situación que explica los resultados de eficacia aquí encontrados, debido a la presencia de alcanfor, borneol y 1,8-cineol, compuestos con actividad biológica probada (Sivropoulou *et al.*, 1997; Viljoen *et al.*, 2003; Santoyo *et al.*, 2005).

3.4. Conclusiones

Se recomienda el uso de aceite esencial de lavanda en concentraciones de 25 y 50% para controlar el crecimiento *Pseudomonas* spp y el uso de hidrolato en concentración de 50 % para controlar la proliferación de ninfas y adultos de mosca blanca.

3.5. Bibliografía

- Abbott W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.
- Adaszyńska M.; Swarczewicz M.; Dzięcio M.; Dobrowolska A. 2013. Comparison of chemical composition and antibacterial activity of lavender varieties from Poland. Natural Product Research 27(6): 1497-1501.
- Argyropoulos E.; Eleftherohorinos G.; Vokou D. 2008. In vitro evaluation of essential oils from Mediterranean aromatic plants of the Lamiaceae for weed control in tomato and cotton crops. Allelopathy J. 22:69-78.
- Baydar H.; Kineci S. 2009. Scent Composition of Essential Oil, Concrete, Absolute and Hydrosol from Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) Jeobp. 12(2):131-136.
- Blazeković B.; Stanić G.; Pepeljnjak S.; Vladimir K. 2011. In Vitro Antibacterial and Antifungal Activity of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. 'Budrovka'. Molecules 16: 4241-4253.
- Bralewski T.; Frackowiak M.; Kozera L. 2007. Effect of selected aromatic oils on the development of the pathogenic fungi colonizing vegetable seeds in the laboratory conditions. Buletinul USAMV-CN 64.

- Cavanagh H.; Wilkinson J. 2002. Biological activities of lavender essential oil. *Phytother. Res.* 16:301-308.
- CESAVEG. 2014. Manual de plagas y enfermedades de jitomate. http://www.cesaveg.org.mx/html/folletos/folletos_11/folleto_jitomate_11.pdf
- Cortés N. 2011. Ventajas y desventajas de los insecticidas químicos y naturales. Monografía. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Veracruz. 73 p.
- Dorman, H.J.; Deans, S.G. 2000. Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. *J. Appl. Microbiol.* 88: 308-316.
- Haig T.; Seal A.; Pratley J.; Hanwen W. 2009. Lavender as a source of novel compounds for the development of a natural herbicide. *J Chem Ecol* 35:1129-1136.
- Isman MB. 2004. Plant essential oils as green pesticides for pest and diseases management. *ACS Symp. Ser.* 887: 41–51
- Kaloustian J.; Mikail C.; About L.; Vergnes M.; Nicolay A.; Portugal H. 2008. Nouvelles perspectives industrielles pour les hydrolats. *Acta Bot. Gallica* 155(3): 367-373.
- Luján-Roca D.; Ibarra T.; Mamani H. 2008. Resistencia a los antibióticos en aislados clínicos de *Pseudomonas aeruginosa* en un hospital universitario en lima, Perú. *Rev Biomed* 19:156-160.
- Manzoomi N.; Ganbabani G.; Dastjerdi H.; Asghar F. 2010. Fumigant toxicity of essential oils of *Lavandula officinalis*, *Artemisia dracuncululus* and *Heracleum persicum* on the adults of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae). *Mun. Ent. Zool.* 5:118-122.
- Moon T.; Cavanagh H.; Wilkinson J. 2007. Antifungal activity of Australian grown *Lavandula* spp. Essential oils against *Aspergillus nidulans*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Leptosphaeria maculans* and *Sclerotinia sclerotiorum*. *J. Ess. Oil Res.* 19:171–175.

- Paolini J.; Leandri Ch.; Desjobert J.; Barboni T.; Costa J. 2008. Comparison of liquid–liquid extraction with headspace methods for the characterization of volatile fractions of commercial hydrolats from typically Mediterranean species. *Journal of Chromatography A*. 1193: 37-49.
- Pattnaik S.; Subramanyam V.; Bapaji M.; Kole C. 1997. Antibacterial and antifungal activity of aromatic constituents of essential oils. *Microbios* 89: 39-46.
- Pavela R. 2005. Insecticidal activity of some essential oils against larvae of *Spodoptera littoralis*. *Fitoterapia* 76:691–696.
- Perruci S.; Macchioni G.; Cioni P.; Flamini G.; Morelli I.; Taccini F. 1996. The activity of volatile compounds from *Lavandula angustifolia* against *Psorotes cuniculi*. *Phytother Res* 10:5-8.
- Philogéne B.; Regnault R.; Vincent C. 2004. Productos fitosanitarios insecticidas de origen vegetal: promesas de ayer y de hoy. En *Biopesticidas de origen vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. pp 1-18.
- Regnault R.; Vincent Ch.; Arnason T. 2012. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Annu. Rev. Entomol.* 57: 405-424.
- Ringuelet J.; Urrutia R.; Yordaz M.; Henning C. 2012. Actividad insecticida y repelente de aceites de laurel y lemongrass sobre *Bemisia tabaci*. *Bol. San. Veg. Plagas.* 38:353-360.
- Ruíz-Martínez L. 2007. *Pseudomonas aeruginosa*: Aportación al conocimiento de su estructura y al de los mecanismos que contribuyen a su resistencia a los antimicrobianos. Tesis Doctoral Facultad de Medicina Universidad de Barcelona. Barcelona, España. 156p.

- Santoyo, S.; Cavero, S.; Jaime, L.; Ibañez, E.; Señoráns, F.J.; Reglero, G. 2005. Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil obtained via supercritical fluid extraction. *J. Food Prot.* 68: 790–795.
- SAS Institute. 1998. The SAS system for Windows. Release 6.10. SAS institute. Cary, North Carolina, USA.
- SIAP. 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Sivropoulou, A.; Nikolaou, C.; Papanikolaou, E.; Kokkini, S.; Lanaras, T.; Arsenakis, M. 1997. Antimicrobial, cytotoxic and antiviral activities of *Salvia fruticosa* essential oil. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3197–3201.
- Smigielski K.; Prusinowska R.; Krosowiak K.; Sikora M. 2013. Comparison of qualitative and quantitative chemical composition of hydrolate and essential oils of lavender (*Lavandula angustifolia*). *The Journal of essential Oil Research.* 25(4):291-299.
- Sokovic M.; Glamoc̃ lija, J.; Marin P.; Brkic D.; Van Griensven, L. 2010. Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in vitro model. *Molecules* 15: 7532–7546.
- Suppakul P.; Miltz J.; Sonneveld K.; Bigger S. 2003. Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. *J. Agric. Food. Chem.*, 51: 3197–3207.
- Soylu E.; Soyly S.; Kurt S. 2006. Antimicrobial activities of the essential oils of various plants against tomato late blight disease agent *Phytophthora infestans*. *Mycopathologia.* 161: 119-128.

Viljoen, A.; van Vuuren, S.; Ernst, E.; Klepser, M.; Demirci, B.; Baser, H.; van Wyk, B. 2003.

Osmitopsis astericoides (Asteraceae)—The antimicrobial activity and essential oil composition of a Cape-Dutch remedy. *J. Ethnopharmacol.* 88: 137–143.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

1. Discusión general

Las plantas de lavanda establecidas en Texcoco se adaptaron al clima de la región, a las condiciones del suelo y a la altura de la zona. Aunque fueron trasplantadas durante la época de lluvia y fertilizadas desde su establecimiento, el primer año del cultivo su crecimiento fue muy lento, disparando su crecimiento vegetativo cuando la temperatura ambiental era más cálida después del período de dormancia con bajas temperaturas necesario para inducir la floración siguiente (Curtis, 2006; Kubota *et al.*, 2010).

La literatura señala que el primer año de establecido un cultivo de lavanda, la producción de flor es casi inexistente (Lammerink *et al.*, 1989; López *et al.*, 1997; Muñoz, 2002; Fanlo *et al.*, 2009), situación que se presentó en este cultivo debido el estado de madurez de las plantas aunado al proceso de adaptación que originó la falta de diferencias estadísticas entre las variables de crecimiento para el primer año. Para el segundo año de producción fue evidente el efecto de la fertilización en la producción de las plantas, se presentaron diferencias estadísticas en la altura de las plantas, el número de tallos, el peso fresco y seco del follaje, el número de hojas, el área foliar, el número de inflorescencias y el peso seco de éstas. Las plantas cultivadas con triple 17 más fitohormonas (T6) incrementaron los valores de todas las variables evaluadas: 14 % la altura, 56 % el número de tallos, el peso fresco y seco del follaje, 131 % el número de hojas, 200 % el área foliar y 384 % el número de inflorescencias, comparado con los valores más bajos obtenidos en las plantas crecidas únicamente con vermicomposta (T1).

Los resultados obtenidos con los esquemas de fertilización indican que lavanda no es una planta de bajos requerimientos nutrimentales, como lo revelan López *et al.*, 1997, ya que la aplicación de un fertilización más completa como fue T6 incrementó el crecimiento, desarrollo y por ende la producción de flores. Cabe destacar que mientras el triple 17 aporta nitrógeno fósforo y potasio fácilmente disponible para la planta, los nutrimentos presentes en la vermicomposta requieren de un proceso de mineralización para que éstos estén disponibles para la planta, situación que provoca una respuesta más evidente de las plantas fertilizadas con triple 17, que aquellas fertilizadas con vermicomposta. Por otro lado, las condiciones alcalinas del suelo (pH. 8.3), pudieron ser una limitante para que algunos nutrimentos llegaran del suelo a la planta, pero la fertilización foliar complementó los nutrimentos faltantes y además, en el caso de T6 aportó hormonas que promovieron la división celular, el crecimiento, desarrollo y el incremento en la floración (Chattopadhyay, 2007). Esta situación fue comprobada con los análisis nutrimentales de tejido vegetal, que demostraron valores bajos de fósforo, calcio, magnesio, hierro y manganeso, en el tratamiento fertilizado únicamente con vermicomposta.

Aunque la fertilización si influyó en las variables de crecimiento y producción, no fue así en el rendimiento de aceite esencial de flor de los dos años de producción; no obstante, los valores obtenidos concuerdan con los encontrados por Baydar y Kineci (2009) y superan los encontrados por Arabaci *et al.*, 2007. Cabe destacar, que con los rendimientos de aceite esencial obtenidos con T6 y los volúmenes de inflorescencias obtenidos con el mismo tratamiento, el rendimiento de aceite esencial puede incrementar 54 % comparado con los tratamientos que dieron valores más altos de aceite esencial, pero menor volumen de tallos florales. Tampoco se encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento de aceite esencial del follaje para el primer año de

producción, fue en el segundo que se vio el efecto de la fertilización en los tratamientos que no tuvieron fertilización foliar (T1 y T4) los que arrojaron los valores más altos, y los tratamientos complementados con ácidos húmicos disminuyeron hasta un 31.5 % el rendimiento de aceite esencial.

La fertilización si determinó el número y porcentaje de los componentes del aceite esencial de flor, cuyos componentes mayoritarios fueron linalol y acetato de linalilo, en menor medida 1,8-cineol, alcanfor y borneol; sin embargo, la aplicación de ácidos húmicos en T5 provocó que disminuyera los porcentajes de linalol (57.7 %) y acetato de linalilo (77.2 %), y que aumentaran los de alcanfor (644 %) y borneol (521 %). La fertilización nitrogenada con triple 17, arrojó los valores más altos de linalol y acetato de linalilo, situación que concuerda con los resultados encontrados por Arabaci *et al.*, en 2007, quienes manifiestan que estos compuestos pueden incrementar sus porcentajes con fertilización nitrogenada, dependiendo de las condiciones ambientales y edáficas. Además, éste tratamiento presentó los valores de linalol, acetato de linalilo, alcanfor y borneol dentro de los límites establecidos por la norma ISO/CD 8902 (2007), lo que indica que este aceite esencial cumple con los estándares para ser usado en perfumería y cosmética. No sucede lo mismo con el aceite esencial obtenido de los tratamientos T3 y T6, que aunque presentan porcentajes altos de linalol y acetato de linalilo, los de alcanfor y borneol superan los establecidos por la norma. Esto no significa que no sea de buena calidad, sino que el aceite esencial puede estar destinado a la industria alimenticia y farmacéutica (Sarker *et al.*, 2012). En el follaje los porcentajes de linalol fueron menores a 2.1 % y no se presentó acetato de linalilo. Los componentes mayoritarios fueron alcanfor y borneol, en porcentajes similares en todos los tratamientos. El 1,8-cineol incrementó sus porcentajes en los tratamientos fertilizados

con triple 17 (T4, T5 y T6) y se presentó cariófileno arriba de 9 % en todos los tratamientos excepto en T2. Los resultados son similares a investigaciones previas (Muñoz *et al.*, 2007; Boeckelmann, 2008; Guitton *et al.*, 2010) quienes estipulan una mayor concentración de linalol y acetato de linalilo en flor, y de alcanfor y borneol en hoja, como una estrategia ecológica de atraer polinizadores al follaje y repeler depredadores del follaje.

La evaluación de la actividad biológica del aceite esencial de flor contra *Pseudomonas* spp, arrojó efecto contra el crecimiento de la bacteria arriba de 7.7 mm con todas las concentraciones establecidas, a medida que aumentó la concentración, la zona de inhibición también incrementó. Incluso hubo tratamientos (T4 y T6 al 50 %, T2, T4 y T6 al 100 %) que igualaron o superaron el efecto al presentado por el bactericida comercial. Esta fuerte actividad biológica encontrada puede ser atribuida a los altos porcentajes de linalol, compuesto considerado como un fuerte antimicrobiano (Pattnaik *et al.*, 1997; Dorman *et al.*, 2000; Blazekovic *et al.*, 2011) debido a su capacidad de penetrar las paredes celulares por su alta solubilidad en agua (Suppakul *et al.*, 2003). Aunque también los altos porcentajes de alcanfor presentes en algunos tratamientos pudieron inhibir el crecimiento de *Pseudomonas* spp, por sus propiedades microbicidas probadas (Sivropoulou *et al.*, 1997; Santoyo *et al.*, 2005).

La actividad insecticida del hidrolato de follaje también fue probada contra ninfas y adultos de mosca blanca, el porcentaje de eficacia de Abbott (1925) fue superior al 44 % con hidrolato al 50 % para ninfas y adultos a la primera semana de aplicado el producto y a la segunda semana de 43.93 % para ninfas y 56.37 % para adultos. Los valores más altos de eficacia se presentaron a la segunda aplicación con hidrolato al 25 y 50 %. Estos resultados pueden ser atribuidos a los altos

porcentajes de alcanfor, borneol y 1,8-cineol presentes en el hidrolato y cuya actividad biológica ya ha sido probada (Sivropoulou *et al.*, 1997; Viljoen *et al.*, 2003; Santoyo *et al.*, 2005). Cabe destacar que no se presentaron efectos fitotóxicos de los productos en las plantas evaluadas.

2. Conclusiones generales

La aplicación de triple 17 y aplicación foliar de fitohormonas incrementó 384 % la producción de inflorescencias de lavanda, por lo que se recomienda el cultivo de esta especie bajo este esquema de fertilización.

Aunque no hubo diferencias significativas estadísticamente en los rendimientos de aceite esencial, el rendimiento de éste si se incrementa 212 % con con triple 17 y fitohormonas, comparado con T1, debido a los volúmenes de inflorescencias obtenidos con este tratamiento. Además, en T6 se producen altos porcentajes de linalol y acetato de linalilo, componentes apreciados por la industria.

La aplicación de ácidos húmicos disminuye el rendimiento de aceite esencial en el follaje y los porcentajes de linalol y acetato de linalilo en el aceite esencial de flor, hace falta una investigación más profunda sobre el efecto de los ácidos húmicos en la síntesis de estos compuestos.

Se recomienda el uso de aceite esencial de lavanda en concentraciones de 25 y 50 % para controlar el crecimiento *Pseudomonas* spp y el uso de hidrolato al 50 % para controlar la proliferación de ninfas y adultos de mosca blanca.

Los resultados obtenidos demuestran que tanto el aceite esencial como el hidrolato son productos, de bajo impacto ecológico, que pueden utilizarse en el control de algunas plagas y enfermedades de jitomate; sin embargo, es necesaria una investigación más profunda para determinar el mecanismo de acción contra los agentes patógenos.

3. Bibliografía

- Abbott W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Arabaci O., Bayram E., Baydar H., Savran F. Karadogan T.; Ozay N. 2007. Chemical Composition, Yield and Contents of Essential oil of *Lavandula hybrid* Reverchon Grown under Different Nitrogen Fertilizer, Plant Density and Location. *Asian Journal of Chemistry.* 19(3):2184-2192.
- Baydar H.; Kineci S. 2009. Scent Composition of Essential Oil, Concrete, Absolute and Hydrosol from Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel.) *Jeobp.* 12(2):131-136.
- Blazekovic B.; Stanic G.; Pepeljnjak S.; Vladimir K. 2011. *In Vitro* Antibacterial and Antifungal Activity of *Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. 'Budrovka'. *Molecules* 16: 4241-4253.
- Boeckelmann A. 2008. Monoterpene production and regulation in Lavenders (*Lavandula angustifolia* and *Lavandula x intermedia*). Thesis University of British Columbia, Okanagan. 96p.
- Chattopadhyay, S. 2007. Commercial Floriculture. Gene-Tech Books. 293 p.

- Curtis B. 2006. Growing and Marketing Lavender. Farming the Northwest Series EB2005. Washington State University Extension. 28 p.
- Dorman, H.J.; Deans, S.G. 2000. Antimicrobial agents from plants: Antibacterial activity of plant volatile oils. *J. Appl. Microbiol.* 88: 308-316.
- Fanlo M., Melero R., Moré E.; Cristobal R. 2009. Cultivo de Plantas Aromáticas, Medicinales y Condimentarias en Cataluña. Centro Tecnológico Forestal de Cataluña. España.
- Guitton Y.; Nicole F.; Moja S.; Valot N.; Legrand S.; Jullien F.; Legendre L. 2010. Differential accumulation of volatile terpene and terpene synthase mRNAs during lavender (*Lavandula angustifolia* and *L. x intermedia*) inflorescence development. *Physiologia Plantarum.* 138: 150-163.
- Kubota S., Momose H., Yoneda K.; Koshioka M. 2010. *Lavandula x intermedia* is a vernalization type plant. *JARQ* 44:67-72.
- Lammerink, J.; Wallace, A.; Porter, N. 1989. Effects of harvest time and postharvest drying on oil from lavandin (*Lavandula x intermedia*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 17:315-326.
- López X., Bagisnky C.; Portilla G. 1997. Caracterización del Crecimiento y Rendimiento de Plantas de Lavanda Establecidas en la Región Central de Chile. *Agricultura Técnica.* 57 (2):113-121.
- Muñoz L. 2002. Plantas medicinales y aromáticas: estudio cultivo y procesado. Ed. Mundi-Prensa. 365p.
- Muñoz B.; Arrillaga I.; Segura J. 2007. Essential oil variation within and among natural populations of *Lavandula latifolia* and its relation to their ecological areas. *Biochemical Systemics and Ecology.* 35: 479-488.

- Pattnaik S.; Subramanyam V.; Bapaji M.; Kole C. 1997. Antibacterial and antifungal activity of aromatic constituents of essential oils. *Microbios* 89: 39-46.
- Sarker S.; Galata M.; Demissie A.; Mahmoud S. 2012. Molecular cloning and functional characterization of borneol dehydrogenase from the glandular trichomes of *Lavandula x intermedia*. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 528: 163-170.
- Santoyo, S.; Cavero, S.; Jaime, L.; Ibañez, E.; Señoráns, F.J.; Reglero, G. 2005. Chemical composition and antimicrobial activity of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil obtained via supercritical fluid extraction. *J. Food Prot.* 68: 790–795.
- Sivropoulou, A.; Nikolaou, C.; Papanikolaou, E.; Kokkini, S.; Lanaras, T.; Arsenakis, M. 1997. Antimicrobial, cytotoxic and antiviral activities of *Salvia fruticosa* essential oil. *J. Agric. Food Chem.* 45: 3197–3201.
- Suppakul P.; Miltz J.; Sonneveld K.; Bigger S. 2003. Antimicrobial properties of basil and its possible application in food packaging. *J. Agric. Food. Chem.*, 51: 3197–3207.
- Viljoen, A.; van Vuuren, S.; Ernst, E.; Klepser, M.; Demirci, B.; Baser, H.; van Wyk, B. 2003. *Osmitopsis astericoides* (Asteraceae)—The antimicrobial activity and essential oil composition of a Cape-Dutch remedy. *J. Ethnopharmacol.* 88: 137–143.

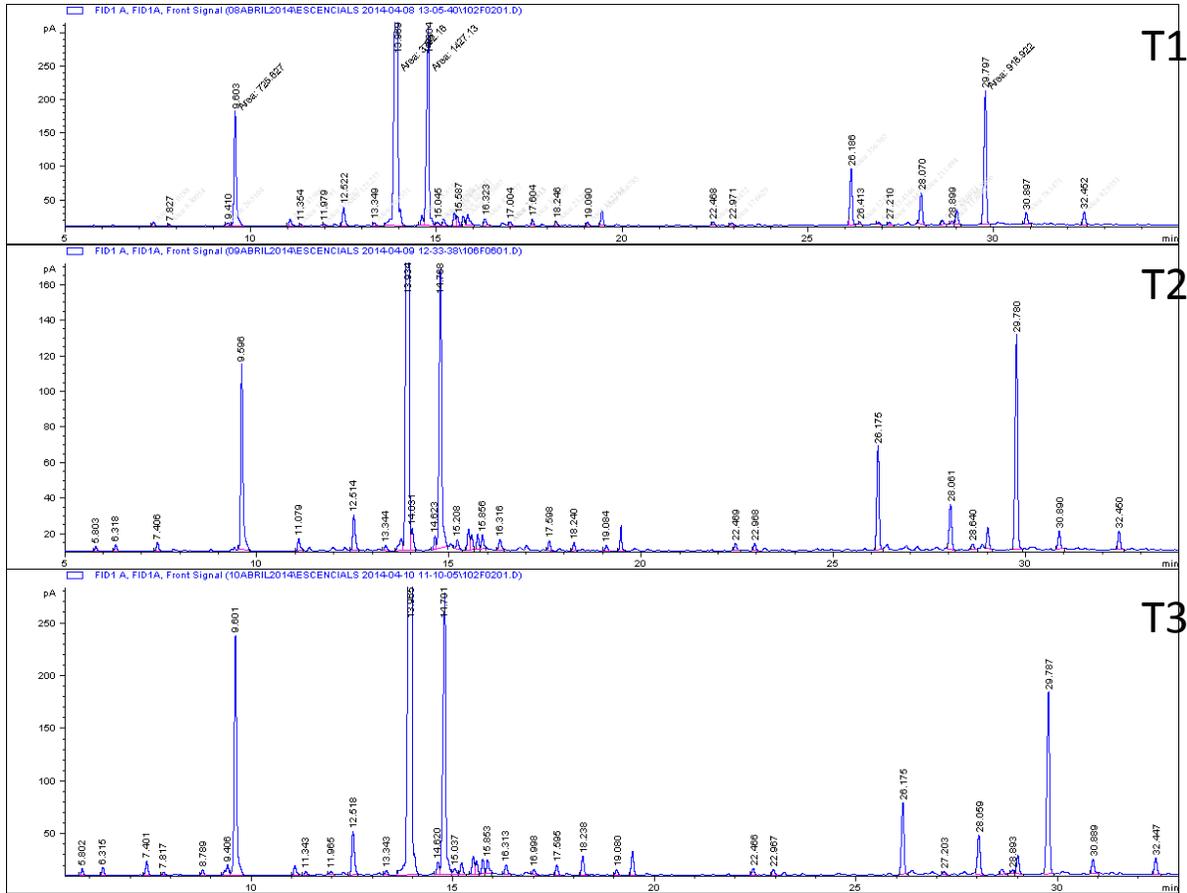
ANEXOS

ANEXO 1. Análisis químico del suelo de campus Montecillo, vermicomposta y fitohormonas.

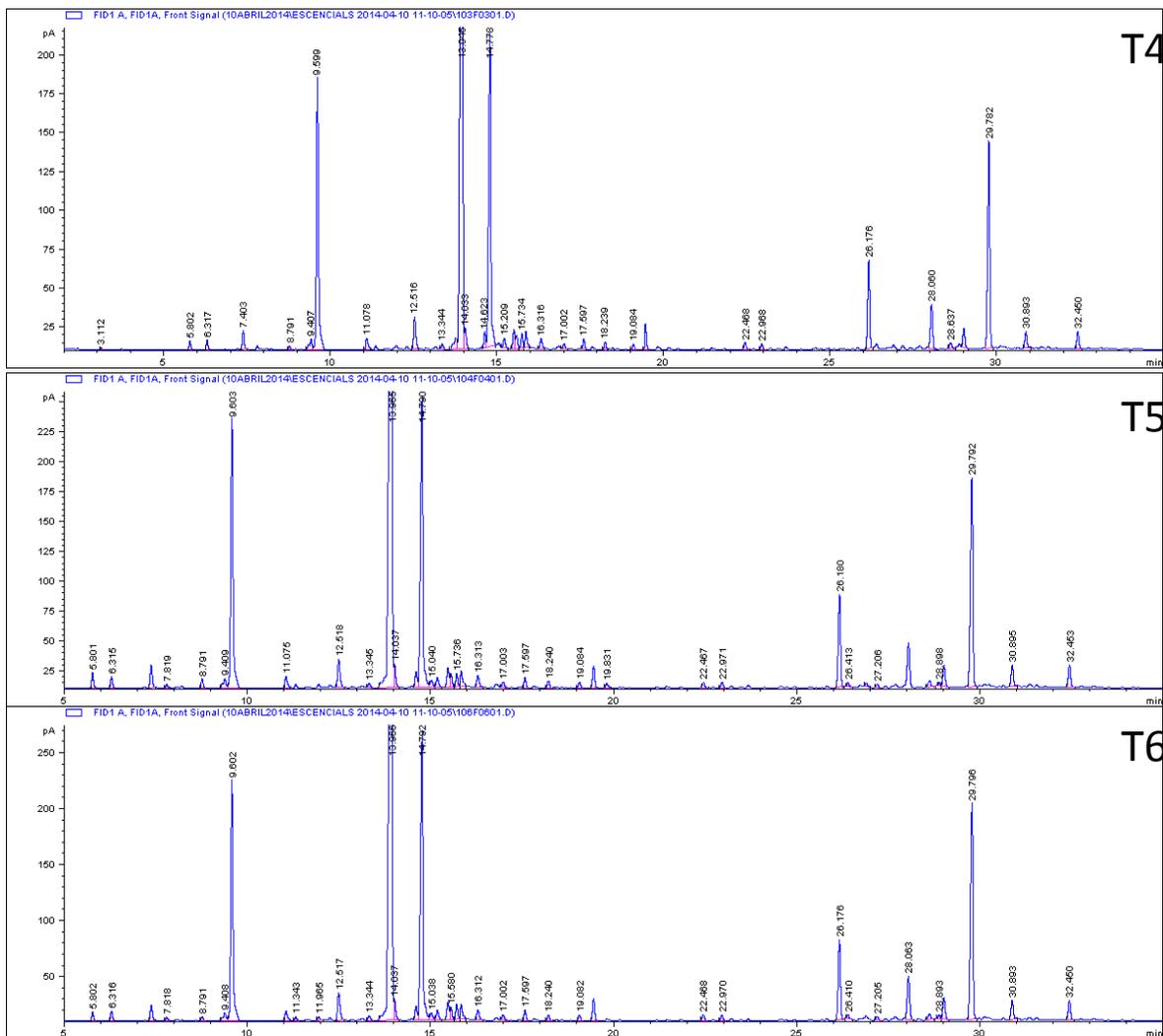
Parámetro	Suelo	Vermicomposta	Fitohormonas
pH	8.3	8.27	
Conductividad eléctrica	1.089 dS m ⁻¹	12.01 dS m ⁻¹	
Materia orgánica	3.10 %	15.43 %	
N		0.30 %	7.40 g l ⁻¹
N-NH ₄	3.91 mg kg ⁻¹		
N-NO ₃	21.4 mg kg ⁻¹		
P	15.39 mg kg ⁻¹	0.32 %	14.70 g l ⁻¹
B	1.43 mg kg ⁻¹	109.86 mg kg ⁻¹	5.30 g l ⁻¹
Ca	4170 mg kg ⁻¹	0.53 %	3.70 g l ⁻¹
Mg	1452 mg kg ⁻¹	0.61 %	6.20 g l ⁻¹
K	2214 mg kg ⁻¹	0.40 %	15.50 g l ⁻¹
Na	200 mg kg ⁻¹		
Fe	40.3 mg kg ⁻¹	1.46 %	28.30 g l ⁻¹
Zn	17.7 mg kg ⁻¹	104.68 mg kg ⁻¹	35.70 g l ⁻¹
Mn	99.4 mg kg ⁻¹	289.25 mg kg ⁻¹	14.80 g l ⁻¹
Cu	13.6 mg kg ⁻¹	51.08 mg kg ⁻¹	7.20 g l ⁻¹
Cytokinins			2,197.95 ppm
Gibberilines			33.50 ppm
Auxins			34.70 ppm

Metodología: pH 1:2 suelo agua; CE 1:2 suelo:agua; MO Walkley y Black; B Azometina H; Micronutrientes DTPA

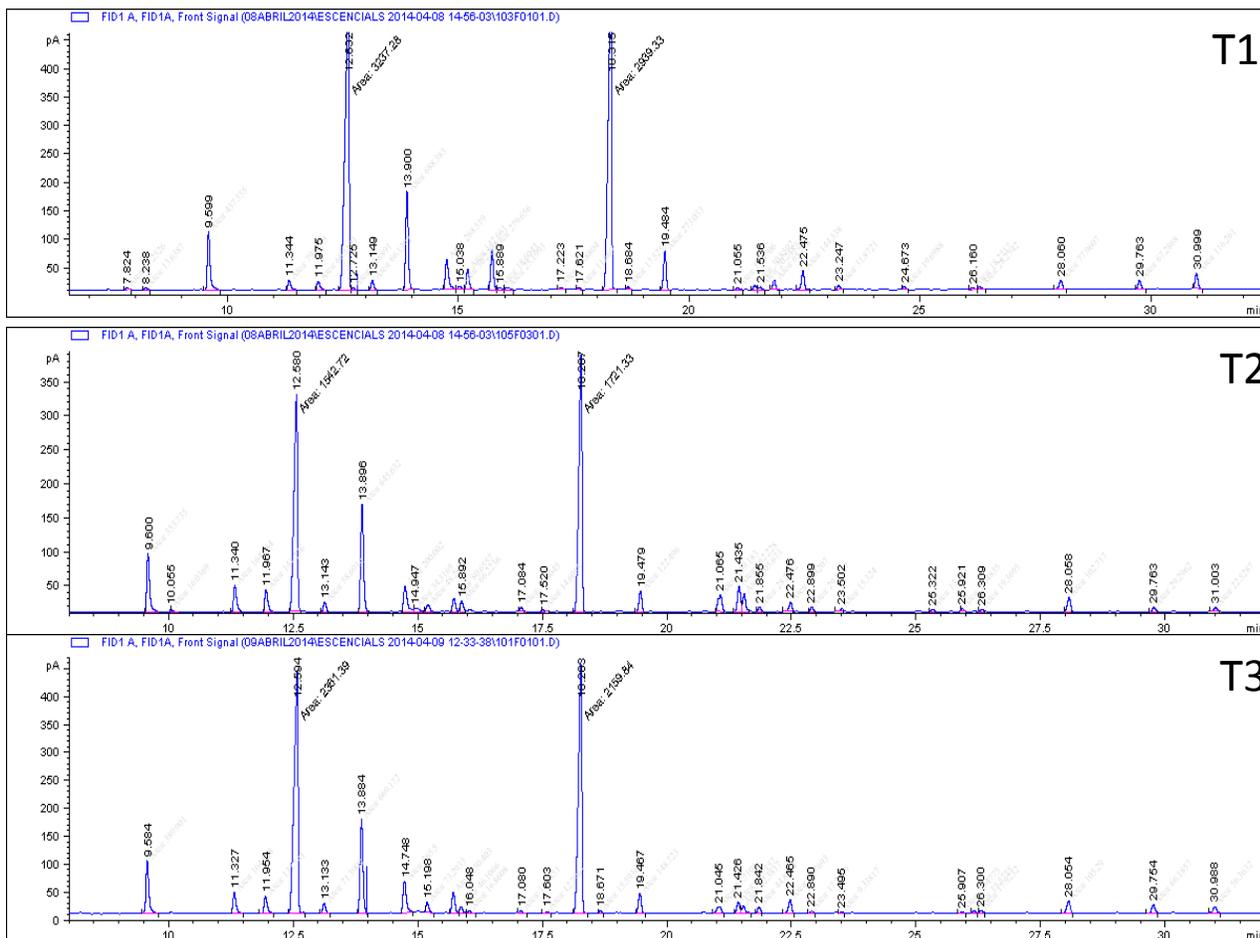
ANEXO 2. Cromatogramas del aceite esencial de follaje: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas.



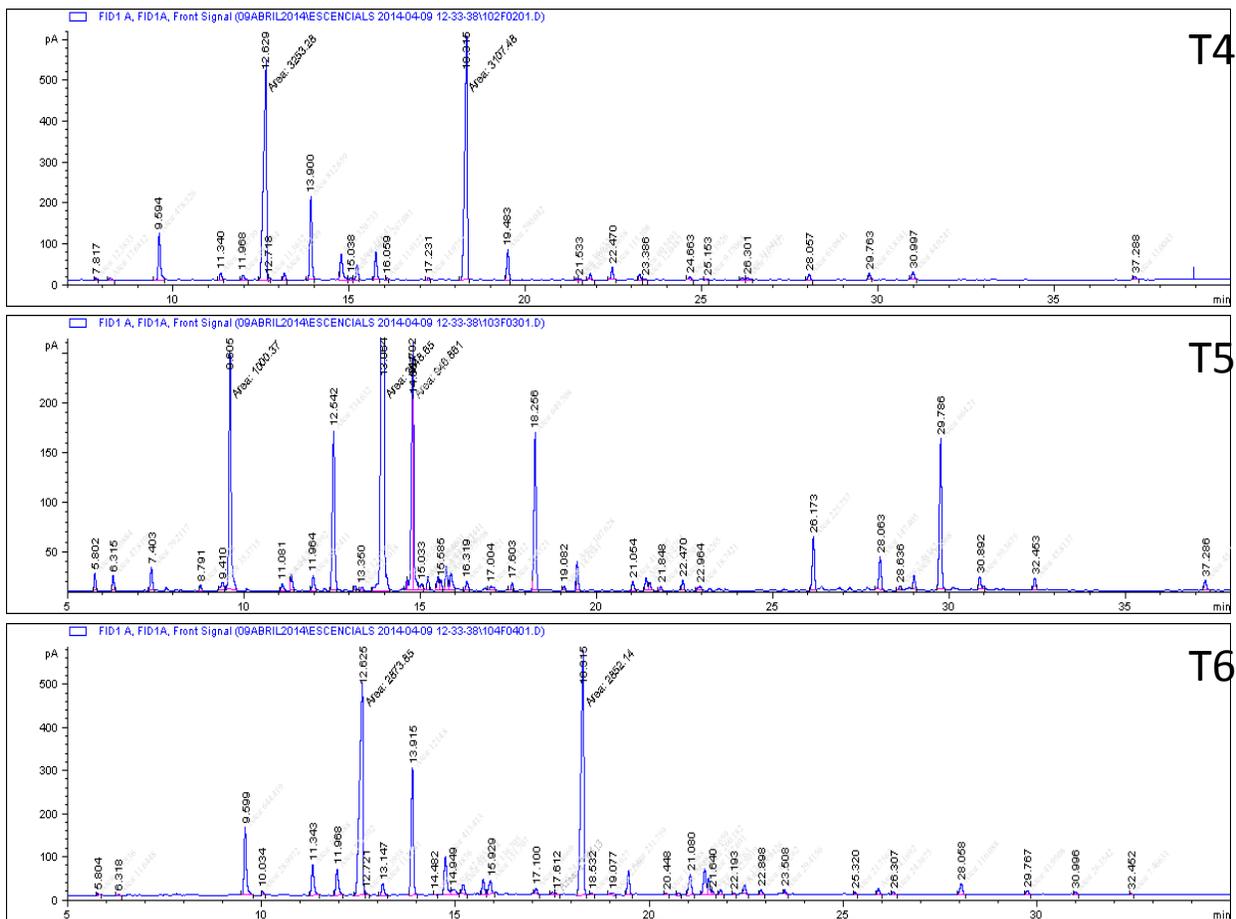
ANEXO 3. Cromatogramas del aceite esencial de follaje: T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas.



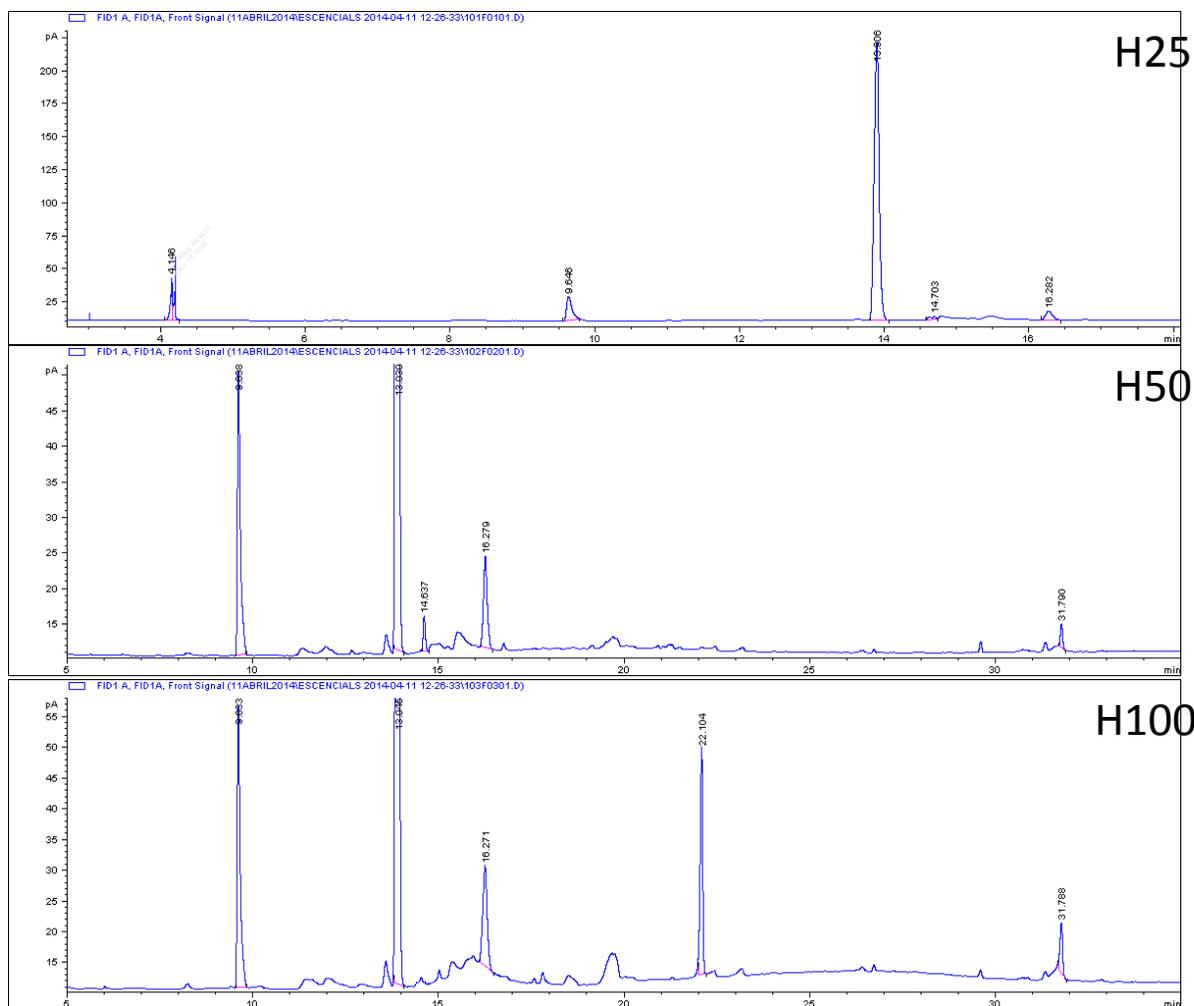
ANEXO 4. Cromatogramas del aceite esencial de las inflorescencias: T1, vermicomposta; T2, vermicomposta más ácidos húmicos; T3, vermicomposta más fitohormonas.



ANEXO 5. Cromatogramas del aceite esencial de las inflorescencias: T4, triple 17; T5, triple 17 más ácidos húmicos; T6, triple 17 más fitohormonas.



ANEXO 6. Cromatogramas del hidrolato más aceite esencial de hoja de lavanda: al 25 % (H25), al 50 % (H50) y al 100 % (H100).



PUBLICACIONES GENERADAS DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN

4. Artículo en proceso en revista Archives of Agronomy and Soil Science

1 Fertilization effects on lavandin production (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel. var. Grosso)

2

3 Luz Adela Guerrero Lagunes¹, Lucero del Mar Ruiz Posadas^{1*}, María de las Nieves Rodríguez

4 Mendoza¹, Marcos Soto Hernández¹, Juan Manuel González Camacho¹, and Néstor Bautista

5 Martínez¹

6

7 ABSTRACT

8

9 Lavandin (*Lavandula × intermedia* Emeric ex Loisel.) is sowed mainly for essential oil extraction from its
10 inflorescence. The extracted oil is used in the cosmetic, pharmaceutical, food and fragrance industries.
11 Sowing in Mexico has just started, and information on fertilization schemes that improve flower and
12 essential oil yields is scarce. This research evaluated fertilization schemes on the field. Six treatments
13 were tested, T1: vermicompost; T2: vermicompost and humic acids; T3: vermicompost and
14 phytohormones; T4: NPK fertilizers; T5: NPK fertilizers and humic acids; T6: NPK fertilizers and
15 phytohormones. Vermicompost and NPK fertilizers to the soil, and humic acids and phytohormones to
16 leaves. A completely random experimental design with a 2 × 3 factorial arrangement and four replicates
17 was deployed. The experimental plot included 15 plants per repetition. Results showed that fertilization
18 influenced all measured variables (plant height, shoot number, fresh and dry leaf weight, leaf number, leaf
19 area, number and dry inflorescence weight and essential oil concentration) until the second year of
20 production. While NPK fertilizers with phytohormones (T6) application increased plant height (14%),
21 shoot number (38%), fresh and dry leaf weight (56%), inflorescence number and dry weight (384% and
22 324%), applying only vermicompost (T1) resulted in lower values. No significant differences in essential
23 oil concentration were found, even though biomass increments resulted in higher essential oil yield.

24

25 **Key words:** Lavender, aromatic plants, essential oil.

26

27 INTRODUCTION

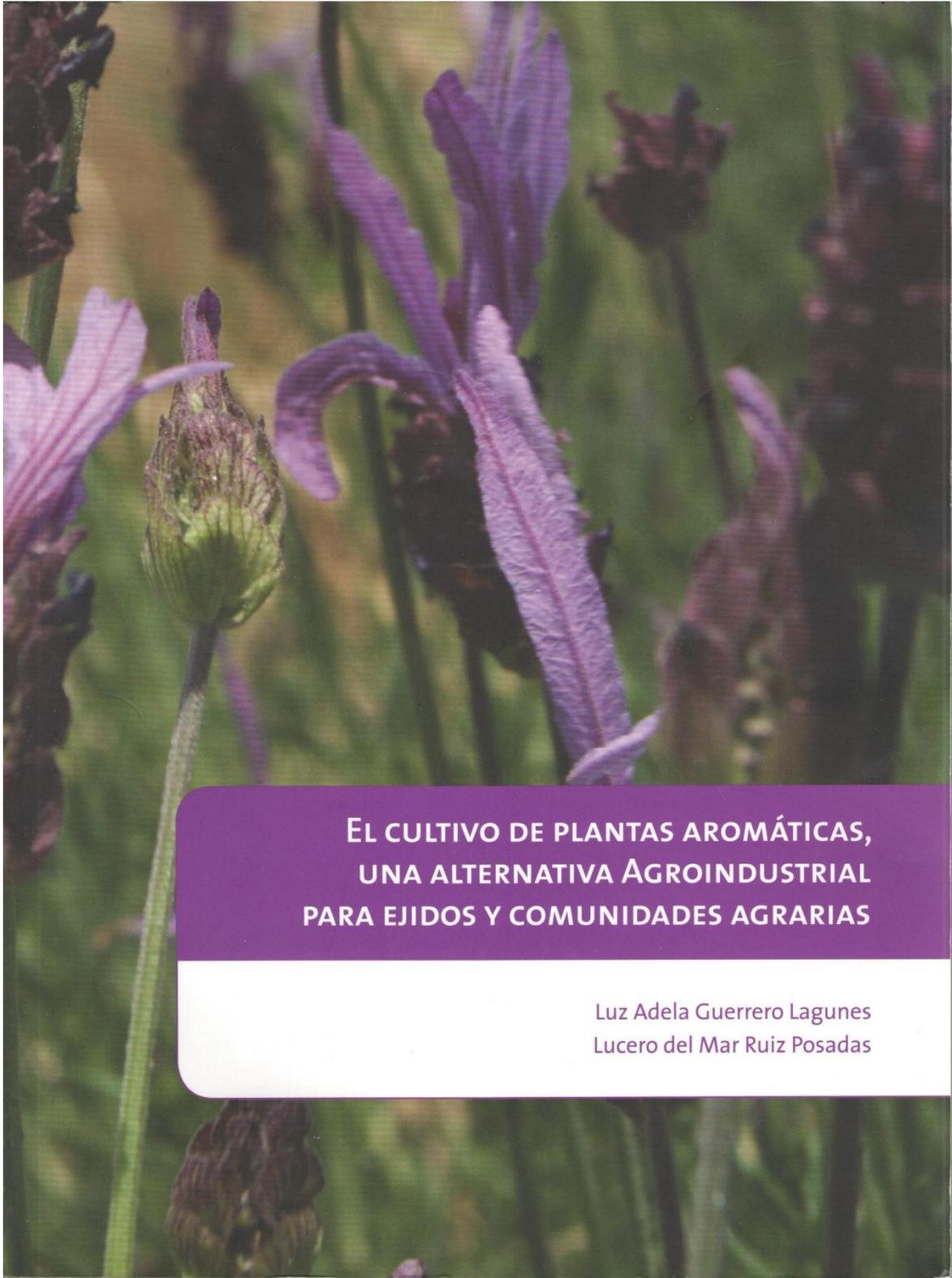
28

29 Lavender species belong to the *Lavandula* genus of the Lamiaceae family. It is mainly sowed for essential
30 oil production that is used for the cosmetic, pharmaceutical, food, scent, cleaning, perfume industries and
31 aromatherapy (Kubota et al., 2010). Dry flower sale is also an important economic activity since it can be

¹Colegio de Postgraduados, km 36.5 México-Texcoco Road, Montecillo, Edo. México, C.P. 56230, México.

*Corresponding author (lucpo@colpos.mx).

5. Libro en 2012 ISBN: 978-607-715-069-5



**EL CULTIVO DE PLANTAS AROMÁTICAS,
UNA ALTERNATIVA AGROINDUSTRIAL
PARA EJIDOS Y COMUNIDADES AGRARIAS**

Luz Adela Guerrero Lagunes
Lucero del Mar Ruiz Posadas

6. Libro en 2013 ISBN: 978-607-715-171-5

