



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑAZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE BOTÁNICA

“CULTIVO INTENSIVO DE AROMÁTICAS EN HIDROPONÍA”

LUZ ADELA GUERRERO LAGUNES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO

PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

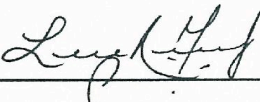
2008

La presente tesis, titulada: **Cultivo intensivo de aromáticas en hidroponía**, realizada por el alumno: **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:

MAESTRO EN CIENCIAS

BOTÁNICA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:  _____


DRA. LUCERO DEL MAR RUIZ POSADAS

ASESOR:  _____

DRA. MARIA DE LAS NIEVES RODRIGUEZ

ASESOR:  _____

DR. MARCOS SOTO HERNÁNDEZ

ASESOR:  _____

DR. ALBERTO CASTILLO MORALES

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2008

CULTIVO INTENSIVO DE AROMÁTICAS EN HIDROPONÍA

Luz Adela Guerrero Lagunes, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2008

Albahaca, orégano y tomillo son especies aromáticas cuyo consumo esta aumentando considerablemente a nivel mundial lo que ha motivado en gran medida la práctica de técnicas de cultivo que aporten mayores beneficios que las tradicionales. Bajo esta perspectiva y considerando que en México el cultivo intensivo de estas especies apenas inicia, se plantea el presente estudio, con el objetivo de evaluar la producción de albahaca, orégano y tomillo cultivadas en invernadero bajo un sistema hidropónico abierto, utilizando tezontle como sustrato. Se evaluaron tres densidades de siembra: D1, D2 Y D3 (14, 28 y 71 plantas m⁻², respectivamente) y dos concentraciones de solución nutritiva Steiner (S1: 100%, y S2: 50%). Para cada especie se utilizó un arreglo factorial 3x2, con cuatro repeticiones de cada tratamiento (densidades, soluciones) teniendo 24 unidades experimentales de 0.70 x 0.60 m. Los resultados muestran que los requerimientos nutrimentales de albahaca y tomillo son mayores que los de orégano, ya que las dos primeras aromáticas con Steiner al 100% y la tercera con Steiner al 50%, obtuvieron valores altos de longitud y diámetro del tallo, materia fresca y seca de la parte aérea y raíz, longitud de hoja, número de hojas y área foliar total. La mejor densidad de siembra para albahaca y orégano fue 14 y 28 plantas m⁻², mientras que tomillo obtuvo mejores resultados en 28 y 71 plantas m⁻². Las concentraciones de aceite esencial fueron: 1.42%, 1.122% y 1.47%, para albahaca (linalol fue su componente principal), orégano y tomillo (timol fue su componente mayoritario) respectivamente.

Key words: Ocimum basilicum, Origanum vulgare, Thymus vulgaris, Solución nutritiva

INTENSIVE CULTURE OF AROMATIC IN HIDROPONÍA

Luz Adela Guerrero Lagunes, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2008

Basil, origanum and thyme are aromatic species whose consumption this increasing considerably to world-wide, what it has motivated to a great extent the practice of culture techniques that contribute greater benefits than the traditional ones. Under this perspective and considering that in Mexico the intensive culture of these species as soon as it initiates, the present investigation objective is to evaluate the production of thyme, basil and oregano under an open hydroponic system, using tezontle like substrate. Three different densities of sowing were evaluated: D1, D2 and D3 (14, 28 and 71 plants m^{-2} , respectively) and two concentrations of a Steiner solution (S1: 100% and S2: 50%) were evaluated. A 3x2 factorial design with four repetitions of each treatment (densities, solutions) was used for specie, having 24 experimental units of 0.70 x 0.60 m. The results show that the nutritional requirements of basil and thyme are greater than those of oregano, the two first with 100% Steiner and third with 50% Steiner, obtained high values of length and diameter of the stem, fresh and dry matter of the aerial part and root, length of leaf, number of leaves and area to foliar. The best density of optimal sowing for basil and oregano was 14 and 28 $pl \cdot m^{-2}$, whereas thyme obtained better results in 28 and 71 $pl \cdot m^{-2}$. Essential oil concentrations were obtained: 1.42%, 1.122% and 1.47%, for basil (linalol was its main component), oregano and thyme (timol was its majority component) respectively.

Key words: Ocimum basilicum, Origanum vulgare, Thymus vulgaris, nutritive solutionSolución

DEDICATORIAS

A mis hijos Rebeca y Leobardo por ser el motivo de mi existencia y superación.

A mi esposo Leobardo por su amor, comprensión y apoyo incondicional.

A mis padres Blanca y Franklin por todos los consejos, cariño y apoyo que me han dado.

A mis hermanos: Joaquín, Franklin, Margarita, Claudia y Mirna por ser parte importante de mi vida.

A la Dra. Lucero del Mar Ruiz Posadas por su paciencia y su amistad.

A los Dres. M^a de las Nieves Rodríguez, Marcos Soto y Alberto Castillo por sus consejos.

A Toño, Daniel y Rosy por los momentos y desayunos compartidos.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de superarme y por todo el apoyo recibido.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero.

A la Dra. Lucero del Mar Ruiz Posadas, por el tiempo que me dedico, por sus consejos y sobre todo por su amistad.

A mi consejo particular, por el apoyo y comentarios que enriquecieron este trabajo: Dra. M^a de las Nieves Rodríguez, Dr. Marcos Soto y Dr. Alberto Castillo.

A todas las personas que colaboraron en la realización del proyecto en invernadero y laboratorio: mi esposo Leobardo, mi padre Franklin, Antonio Velasco y personal del laboratorio de fitoquímica.

Agradezco infinitamente a dios, por permitirme ver terminado este proyecto y regalarme cada día de vida.

CONTENIDO

	Pág
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Las Plantas Aromáticas	3
2.2 Importancia Económica Internacional	6
2.3 Cultivo de Aromáticas en México	8
2.3.1 Factores que intervienen en el cultivo.....	9
I) Especie y variedad.....	10
II) Condiciones ambientales.....	10
a. Temperatura.....	11
b. Luz.....	12
c. Humedad relativa.....	12
2.4 Cultivos Hidropónicos	13
2.4.1 Sustratos.....	14
2.4.2 Solución nutritiva.....	16
2.4.3 Riego.....	20
2.5 Manejo de las Plantas Aromáticas	21
2.5.1 Densidad de siembra.....	21
2.5.2 Plagas comunes y su control.....	21
2.6 Recolección	23
2.7 Procesamiento	24
2.8 Aceites Esenciales	26
2.8.1 Extracción.....	29
2.8.2 Estudios fitoquímicos.....	31
2.8.3 Factores que afectan la calidad de los aceites esenciales.....	32

2.9 Calidad de las Plantas Aromáticas.....	34
3. OBJETIVOS.....	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
4.1 Material Vegetal.....	37
4.1.1 Albahaca.....	37
4.1.2 Orégano.....	38
4.1.3 Tomillo.....	39
4.2 Elaboración de Almacigos.....	40
4.3 Establecimiento del Experimento.....	41
4.4 Cultivo Hidropónico.....	41
4.4.1 Contenedores.....	41
4.4.2 Sustratos.....	42
4.4.3 Sistema de riego.....	42
4.4.4 Soluciones nutritivas.....	43
4.5 Densidades de Siembra.....	45
4.6 Diseño Experimental y Tratamientos.....	46
4.7 Variables Evaluadas Durante El Desarrollo Del Cultivo.....	48
4.7.1 Altura de la planta.....	48
4.7.2 Diámetro del tallo.....	48
4.7.2 Días a floración.....	48
4.8 Variables Evaluadas A La Cosecha.....	48
4.8.1 Tamaño de la hoja.....	49
4.8.2 Peso fresco de parte aérea y raíz.....	49
4.8.3 Peso seco parte aérea y raíz.....	49
4.8.4 Número de hojas por planta.....	50
4.8.5 Área foliar.....	50

4.8.6 Aceites esenciales.....	50
4.8.6.1 Extracción en frío.....	50
4.8.6.2 Extracción por destilación por arrastre con vapor de agua.....	51
4.8.6.3 Análisis de aceites esenciales por cromatografía.....	51
I) Cromatografía de capa fina.....	51
II) Cromatografía de gases.....	52
4.9 Análisis Estadísticos.....	53
5. RESULTADOS.....	54
5.1 Albahaca.....	54
5.1.1 Variables de crecimiento.....	54
5.1.2 Variables a la cosecha.....	58
5.1.3 Aceites esenciales.....	65
5.2 Orégano.....	69
5.2.1 Variables de crecimiento.....	69
5.2.2 Variables a la cosecha.....	72
5.2.3 Aceites esenciales.....	76
5.3 Tomillo.....	80
5.3.1 Variables de crecimiento.....	80
5.3.2 Variables a la cosecha.....	82
5.3.3 Aceites esenciales.....	88
6. DISCUSIÓN.....	93
6.1 Crecimiento y Cosecha.....	93
6.2 Aceites Esenciales.....	99
7. CONCLUSIONES.....	103
8. LITERATURA CITADA.....	106

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Superficie de producción orgánica de hierbas aromáticas por entidad federativa, 2004-2005.....	9
Cuadro 2. Fuentes de macronutrientes utilizadas para preparar la solución nutritiva Steiner usando como aporte de fósforo al ácido fosfórico.....	18
Cuadro 3. Procedencia de metabolitos secundarios.....	28
Cuadro 4. Especificaciones de la calidad mínima en albahaca, orégano y tomillo.....	35
Cuadro 5. Análisis químico del agua utilizada para preparar las soluciones nutritivas.....	43
Cuadro 6. Cantidad de macronutrientes aportadas a la solución nutritiva Steiner, de acuerdo con el análisis químico de agua.....	44
Cuadro 7. Concentración de micronutrientes en la solución nutritiva Steiner.....	44
Cuadro 8. Densidades de siembra para cada una de las especies aromáticas.....	45
Cuadro 9. Valor de p del análisis de varianza para altura final de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	55
Cuadro 10. Valor de p del análisis de varianza para diámetro final del tallo de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	57
Cuadro 11. Comparación de medias de la longitud de hoja de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	59
Cuadro 12. Valor de p del análisis de varianza de peso seco de la parte aérea y de raíz de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	61
Cuadro 13. Valor de p del análisis de varianza del número de hojas y del área foliar total de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	63
Cuadro 14. Rf's (tiempos de retención) de los componentes del aceite esencial de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, presentes en la placa cromatográfica.....	66
Cuadro 15. Valor de p del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial, en 1 g de las plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	67

Cuadro 16. Compuestos mayoritarios en el aceite esencial de plantas de albahaca cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	69
Cuadro 17. Valor de p del análisis de varianza de la altura de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	70
Cuadro 18. Valor de p del análisis de varianza para diámetro final del tallo de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	70
Cuadro 19. Valor de p del análisis de varianza de peso seco de la parte aérea y de raíz de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	74
Cuadro 20. Rf's (Tiempos de retención) de los componentes del aceite esencial de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, presentes en la placa cromatográfica.....	77
Cuadro 21. Valor de p del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial, en 1 g de muestra de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	78
Cuadro 22. Valor de p del análisis de varianza para altura de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	80
Cuadro 23. Valor de p del análisis de varianza para diámetro final del tallo de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	81
Cuadro 24. Valor de p del análisis de varianza de la longitud de hoja, número de hojas y área foliar total de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	83
Cuadro 25. Valor de p del análisis de varianza del peso fresco y seco de la parte aérea y peso seco de raíz de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	83
Cuadro 26. Comparación de medias de la longitud de hoja de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	84
Cuadro 27. Rf's (tiempos de retención) de componentes del aceite esencial de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, presentes en la placa cromatográfica.....	89
Cuadro 28. Valor de p del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial, en 1 g de muestra de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	90
Cuadro 29. Compuestos mayoritarios en el aceite esencial de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cama donde fueron sembradas las plantas, de un área total de 1.26 m ² (2.10 x 0.60 x 0.20 m).....	41
Figura 2. Distribución de las diferentes densidades de siembra en cada una de las terrazas.....	46
Figura 3 Plano de distribución de las camas en el invernadero. Sol: Solución nutritiva; D: densidad de siembra (D1:14, D2: 28 y D3: 71 pl·m ⁻²); R: repetición; O: orégano; T: tomillo; A: albahaca.....	47
Figura 4. Altura de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.....	55
Figura 5. Altura de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.....	56
Figura 6. Diámetro del tallo de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.....	57
Figura 7. Diámetro del tallo de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.....	58
Figura 8. Peso fresco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	60
Figura 9. Peso seco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	62
Figura 10. Peso seco de raíz de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	62
Figura 11. Número de hojas de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	64
Figura 12. Área foliar total de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	64
Figura 13. Aceite esencial de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, en una placa de sílica gel, revelada con vainillina-ácido sulfúrico.....	65
Figura 14. Concentración de aceite esencial en plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	67
Figura 15. Cromatograma del aceite esencial de albahaca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	68
Figura 16. Estructura de linalol.....	68

Figura 17. Diámetro del tallo de plantas de orégano cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.	71
Figura 18. Diámetro del tallo de plantas de orégano cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.	71
Figura 19. Longitud de la hoja de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	71
Figura 20. Peso fresco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	73
Figura 21. Peso seco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	73
Figura 22. Peso seco de raíz de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	74
Figura 23. Número de hojas de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	75
Figura 24. Área foliar total de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	76
Figura 25. Aceite esencial de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, en una placa de sílica gel, revelada con vainillina-ácido sulfúrico.....	77
Figura 26. Concentración de aceite esencial de plantas de orégano, en 1 g de muestra seca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	79
Figura 27. Cromatograma del aceite esencial de plantas de orégano cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	79
Figura 28. Diámetro del tallo de plantas de tomillo cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.	81
Figura 29. Diámetro del tallo de plantas de tomillo cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.....	82
Figura 30. Peso fresco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	85
Figura 31. Peso seco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	86
Figura 32. Peso seco de la raíz de plantas de tomillo cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	86

Figura 33. Número de hojas de plantas de tomillo cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	87
Figura 34. Área foliar total de plantas de tomillo cultivadas dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	88
Figura 35. Aceite esencial de plantas de tomillo cultivadas dos soluciones nutritiva y tres densidades de siembra, en una placa de sílica gel, revelada con vainillina-ácido sulfúrico.....	89
Figura 36. Concentración de aceite esencial de plantas de tomillo, en 1 g de muestra seca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	91
Figura 37. Cromatograma del aceite esencial de tomillo, cultivado con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra	91

ÍNDICE DE APÉNDICE

	Pág.
Apéndice 1. Comparación de medias de la altura de la planta en albahaca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 60 días después del trasplante.	116
Apéndice 2. Comparación de medias del diámetro del tallo de la planta en albahaca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 60 días después del trasplante.	117
Apéndice 3. Comparación de medias de la altura de la planta en orégano, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 90 días después del trasplante.	118
Apéndice 4. Comparación de medias del diámetro del tallo de la planta en orégano, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 90 días después del trasplante.....	119
Apéndice 5. Comparación de medias de la altura de la planta en tomillo, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 81 días después del trasplante.	120
Apéndice 6. Comparación de medias del diámetro del tallo de la planta de tomillo, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 81 días después del trasplante.....	121

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Comparación de medias del peso fresco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	122
ANEXO 2. Comparación de medias del peso seco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	122
ANEXO 3. Comparación de medias del peso seco de raíz de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra. ..	123
ANEXO 4. Comparación de medias del número de hojas de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra. ..	123
ANEXO 5. Comparación de medias del área foliar total de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	124
ANEXO 6. Comparación de medias de la concentración de aceite esencial de plantas de cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	124
ANEXO 7. Comparación de medias de la longitud de hoja de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra. ..	125
ANEXO 8. Comparación de medias del peso fresco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	125
ANEXO 9. Comparación de medias del peso seco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	126
ANEXO 10. Comparación de medias del peso seco de raíz de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra. ..	126
ANEXO 11. Comparación de medias del número de hojas de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra. ..	127
ANEXO 12. Comparación de medias del área foliar total de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra. ..	127
ANEXO 13. Comparación de medias de la concentración de aceite esencial de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	128
ANEXO 14. Comparación de medias del peso fresco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	128

ANEXO 15. Comparación de medias del peso seco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.....	129
ANEXO 16. Comparación de medias del peso seco de raíz de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	129
ANEXO 17. Comparación de medias del número de hojas de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	130
ANEXO 18. Comparación de medias del área foliar total de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra...	130
ANEXO 19. Comparación de medias de la concentración de aceite esencial de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.	131

1. INTRODUCCIÓN

Tomillo (*Thymus vulgaris* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) son plantas aromáticas, pertenecientes a la familia Lamiaceae, que se caracterizan por contener aceites esenciales volátiles que les confiere olores y sabores particulares. Desde la antigüedad, estas especies forman parte de la vida cotidiana del hombre y si bien se encuentran presentes en la naturaleza, de la cual antiguamente se servían los consumidores mediante su recolección, han sido cultivadas desde tiempos inmemoriales, con el fin de mejorar el sabor de las comidas y perfumar el medio ambiente.

Cada especie presenta requerimientos de cultivo diferentes, su producción esta destinada para consumo en fresco, consumo en seco o producción de aceite esencial. Cada uno de estos objetivos de producción requiere de escalas distintas para lograr rentabilidad y posibilidad de participar en el mercado. Es así que estos cultivos pueden ser conducidos y realizados en establecimientos y con productores muy diferentes en cuanto a su disponibilidad de mano de obra, capital, trabajo y organización de la producción, ya sea que se le realice en forma extensiva, semi-intensiva o intensiva, que buscan obtener producciones altas en menor tiempo (INTA, 2006).

Buenas prácticas de cultivo, poscosecha, almacenaje y transporte son requerimientos básicos para la producción de material de alta calidad (Hüsñü, 1999).

Tomando en cuenta los requerimientos para crecer y desarrollarse de manera óptima, se considera que el potencial de cultivo de estas especies en la zona centro del país es grande, ya que su producción esta limitada al traspatio de los huertos familiares. Aunado a esto, el uso de sistemas hidropónicos representa una buena alternativa que permitirá obtener una producción intensiva y abasto todo el año, ocasionando una reducción en el costo de producción. La producción en invernadero de hierbas ofrece varias ventajas al mercado incluyendo rápido crecimiento de las plantas, producción fuera de temporada cuando los precios del mercado son más altos y productos más limpios (Stapleton y Hochmuth, 2001).

Con base a la información precedente, se plantea la presente investigación con el objetivo de evaluar la producción de tres especies aromáticas cultivadas en hidroponía en diferentes densidades de siembra y soluciones nutritivas.

2. ANTECEDENTES

2.1 Las plantas aromáticas

Las plantas o hierbas aromáticas contienen sustancias odoríferas que se pueden extraer como aceites esenciales, oleorresinas o extractos. Se emplean en gastronomía para sazonar y conservar alimentos debido a sus características organolépticas que proporcionan aromas, colores y sabores que los hacen más apetitosos y gratos al olfato, vista y paladar. Por su actividad biológica son utilizadas como plantas medicinales para curar un gran número de enfermedades.

Desde tiempos remotos se utilizaban las plantas aromáticas con fines ceremoniales, quemando madera y hojas para halagar a los Dioses con agradables aromas. Los egipcios usaron infusiones de plantas con propósitos medicinales, cosméticos y para rituales religiosos ya que los aromas podían promover un estado de tranquilidad. Fueron expertos en usar plantas aromáticas para el proceso de momificación entendían el principio de la aromaterapia e incorporaban sabores a sus alimentos.

Se cree que fue en el extremo Oriente donde se originaron las especias más valiosas: la canela, el jengibre y los clavos. Los huertos de pimienta de la India pueden considerarse primitivas regiones productoras de especias que se difundieron luego a pueblos vecinos y más tarde, como valiosos productos del comercio internacional a Occidente, Grecia y Roma.

Los aztecas, en la gran Tenochtitlán fueron bien conocidos por sus grandes jardines, donde cultivaban plantas aromáticas y medicinales. Prototipo de estos jardines reales era el conocido Tetzcutzingo (actualmente “Molino de Flores”) y los “Baños de Nezahualcóyolt” en las inmediaciones de Texcoco (Viesca, 1976). Poco a poco el uso de las plantas aromáticas y sus aceites se fue expandiendo y actualmente, la gente que vive en comunidades rurales continúa con muchas prácticas antiguas en su uso.

En los últimos 30 años, se ha incrementado el interés en plantas aromáticas y medicinales como conservadores de alimentos, compuestos farmacéuticos y saborizantes (Arizio y Curioni 2003), a ritmos que duplican o triplican según los casos el crecimiento de la población mundial, la moderna farmacopea de las grandes ciudades contiene al menos 25% de drogas derivadas de plantas aromáticas. La expansión en la demanda de plantas aromáticas se explica a través de:

a. El auge de las comidas étnicas producto de las grandes migraciones ocurridas hacia los países industrializados de etnias o países orientales y asiáticos que utilizan una gran cantidad de condimentos. Tanto en Europa como en Estados Unidos surge, favorecida por la publicidad, una corriente de interés por las comidas exóticas que requieren de mezclas de hierbas y condimentos.

b. Cambios en los hábitos de consumo donde las comidas pre - elaboradas o pre - cocinadas, muestran una tendencia clara a reemplazar las comidas de elaboración casera, lo que ha dado impulso y sustento a la aparición de nuevas tecnologías de envasado, cocción y conservación de alimentos. Este hecho ha determinado que la demanda de la industria alimenticia por condimentos sea superior a la demanda de las economías domésticas. Los condimentos son utilizados como conservadores y antioxidantes naturales en la fabricación de alimentos industriales y golosinas. Por ejemplo, al orégano y al romero se los emplea como antioxidantes en la fabricación de salchichas y otros productos cárnicos (Jayasinghe *et al.*, 2003; Yanishlieva *et al.*, 2006).

c. Las tendencias hacia una vida más sana y natural que esta imponiendo el uso de saborizantes, suplementos y conservadores de origen natural, Los consumidores tienden a eliminar la sal en las comidas, de lo que surge la necesidad de reemplazarla por condimentos y mezclas de hierbas. Debido a la preferencia por los alimentos naturales, se ha buscado reemplazar a los colorantes y aromas artificiales, favoreciendo así a las hierbas aromáticas naturales.

d. Una clara tendencia de reemplazo de medicamentos sintéticos por los de origen natural, ya que anteriormente los técnicos de la industria farmacéutica se volcaron al uso de sustitutos sintéticos más aprovechables y consecuentemente, de menor costo. Las multinacionales de cosméticos han desarrollado la demanda de toda clase de esencias, aromas y aceites esenciales.

Los aceites esenciales son usados en agricultura, como insecticidas, fungicidas, herbicidas y nematocidas. Se conoce el papel repelente de *Ocimum basilicum* L. contra insectos, pulgones y mosca; mientras que orégano y tomillo son usados como conservadores de alimentos contra ataques de hongos y contaminación por aflatoxinas (Hüsnü, 1999; Kostyukovsky *et al.*, 2002).

2.2 Importancia Económica Internacional

Las plantas aromáticas son comercializadas en una gran variedad de formas, más del 85% se venden en su estado original, sin sufrir ningún proceso de molienda o trituración, el resto es vendido con algún grado de procesamiento, como aceite esencial u oleorresina. Por otro lado, el comercio de las formas deshidratadas va en aumento, al igual que el mercado de las hierbas orgánicas que en Alemania y Suiza, alcanza un sobrepeso de hasta 25%. En Europa las hierbas aromáticas también se comercializan congeladas lo que garantiza su abasto durante todo el año. (Hernández, 2003).

Los principales productos que se pueden obtener a partir de las especias vegetales se presentan a continuación (Elder *et al.*, 2005).

a. Hierbas deshidratadas:

A granel y en bolsas, para el mercado herboristero o como condimento.

b. Aceites esenciales:

Crudos, en solución y parcialmente rectificadas, para la industria alimentaria, perfumería, farmacéutica, cosmética y aromaterapia.

c. Extractos vegetales:

Fitoextractos, oleorresinas, soluciones oleosas, concretos y absolutos.

d. Polvos y harinas estabilizados:

Microgranulados, comprimidos, cápsulas y complementos dietarios.

e. Productos de alta pureza (química fina):

Aceites rectificadas, aislamiento de principios activos y bases de síntesis.

Los principales países exportadores de plantas aromáticas son China, Estados Unidos, Brasil, Indonesia e India. Se estima que el 3% de la producción de aceite esencial es usada en la industria farmacéutica, 34% en bebidas y el resto como saborizante y en perfumería (Hüsnü, 1999).

Los principales países importadores tanto de especies vegetales aromáticas, como de aceites esenciales son Alemania, Países Bajos, Francia, Reino Unido y España, concentrando más del 60% del volumen de importaciones mundiales de estos productos, aunque también son mercados importantes Japón y Arabia Saudita (Arizo O., 2002 a y b).

2.3 Cultivo de Aromáticas en México

A pesar que desde épocas prehispánicas se cultivan las hierbas aromáticas en México, y de que en nuestros días es común observarlas en traspacios de casas de muchas localidades del país, su cultivo formal es una actividad incipiente, motivada en gran medida por la demanda del comercio exterior.

Los principales Estados productores son Tlaxcala, Veracruz, Querétaro, Morelos, Baja California Sur y la zona oriente del Estado de México donde el cultivo se realiza de manera convencional a cielo abierto. En el Estado de Morelos las plantas aromáticas se cultivan en su mayoría en invernadero, con sistemas hidropónicos, la producción obtenida (600 mil toneladas anuales) es en su mayoría, destinada para exportación; albahaca abarca el 60% de la producción final (SAGARPA, 2006).

En México, en comparación con los países desarrollados, la agricultura orgánica se está caracterizando por la integración de pequeños productores indígenas a organizaciones sociales, la activa participación y promoción de parte de organizaciones no gubernamentales (ONG) mexicanas e internacionales, y la casi completa ausencia del Estado Mexicano. Según reportes del Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), entre 2004 y 2005 la superficie de producción orgánica de hierbas aromáticas fue de 30, 110 hectáreas de las que en el 2006 se obtuvieron más de 135 millones de pesos por la venta de 3 245 toneladas de albahaca, albahaca orgánica, romero, romero orgánico y menta orgánica. La

superficie agrícola dedicada a la producción orgánica de hierbas aromáticas por entidad federativa entre 2004 y 2005 se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Superficie de producción orgánica de hierbas aromáticas por entidad federativa, 2004-2005.

Estado	Hectáreas	Porcentaje (%)
Querétaro	30,000	99.60
Chihuahua	50	0.17
Puebla	50	0.17
Morelos	16	0.05
Baja California	3	0.01
Total	30,119	100

Fuente: CIESTAAM, 2005.

2.3.1 Factores que intervienen en el cultivo

Los objetivos en la producción de plantas aromáticas son alcanzar altos rendimientos de material vegetal y elevados contenidos de aceites esenciales. Para esto, es importante considerar a la especie, variedad, condiciones ambientales, sustrato, manejo, recolección y procesamiento (Csizinszky, 1993), como fuentes importantes de variabilidad. Es fundamental contar con prácticas de manejo del cultivo y condiciones ambientales acordes a sus requerimientos, lo que implica la adopción de técnicas y métodos que posibiliten altos rendimientos y calidad.

I) Especie y variedad

Las hierbas aromáticas provienen de numerosas familias, cada una con sus propios requerimientos de cultivo y preferencias. La selección de buenas semillas y de plantas madre para multiplicar es un factor determinante para iniciar un cultivo, ya que influye directamente en el rendimiento y en la calidad de sus principios activos. Aspectos como la cantidad y concentración de un ingrediente activo, hábitos de crecimiento, resistencia a enfermedades y efectos ambientales, son importantes de considerar en la elección de un cultivar. Existe además variabilidad genética entre individuos, lo que hace que plantas de un mismo lote se comporten de manera disímil, y variabilidad ambiental, lo que determina que entre un año y otro el comportamiento productivo sea distinto. Es importante una buena rotación de cultivo, incluso con especies de familias botánicas distintas, para evitar alelopatías y problemas de plagas y malezas (FIA, 2003).

La selección de estas plantas y la mejora de su cultivo es más compleja que la practicada para otros vegetales pues no solamente se persigue obtener un buen porte y desarrollo, que sean resistentes a condiciones climáticas y edáficas adversas, a plagas y enfermedades, sino que produzcan un elevado rendimiento en principios activos de buena calidad, principal criterio de selección (Muñoz, 2002).

II) Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales afectan directamente en la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas. Los valores óptimos dependen de la especie e incluso pueden ser diferentes entre variedades, y a lo largo de su ciclo de vida. Las mejores

condiciones de cultivo son las similares a los climas de las regiones donde las plantas son originarias.

a. Temperatura

La temperatura es un factor limitante en la producción de algunas aromáticas, entre las que se encuentran la albahaca, orégano y tomillo (Csizinszky, 1993, Galambosi, *et al.*, 2002). Las aromáticas prefieren temperaturas cálidas y su crecimiento puede disminuir en temperaturas bajas (Ariza, 1999). La albahaca es una especie de clima templado y templado-cálido (entre 15 y 25°C) que no resiste temperaturas inferiores a -2°C (Muñoz, 2002). Sin embargo, Csizinszky en 1993, reportó mayor crecimiento y producción de materia fresca y seca a 31.7°C, que a temperaturas inferiores.

Orégano y tomillo son especies de clima templado, templado-calido y de montaña, que resisten muy bien las heladas y sequías (Muñoz, 2002); rendimientos altos se han obtenido a temperaturas entre 14.3 y 31°C (Curioni *et al.*, 2002; Galambosi *et al.*, 2002; Economakis, 1993 y Udagawa, 1995).

La temperatura también juega un papel importante en la producción de metabolitos secundarios, influye en el crecimiento acelerado y en el equilibrio entre los procesos de fotosíntesis y respiración y por consiguiente, en la producción de los aceites esenciales. Altas temperaturas aumentan su volatilización, pero además puede provocar variaciones tanto en los porcentajes del aceite como en sus componentes (Acosta, 2003).

b. Luz

En relación a la intensidad luminosa y su vinculación con las plantas aromáticas, se sabe, que no todas requieren las mismas condiciones. Las aromáticas productoras de aceite esencial, tienen gran necesidad de la luz por lo que su cultivo es a plena exposición solar como ocurre por ejemplo con orégano y tomillo, sin embargo otras se desarrollan mejor a media luz, es el caso de albahaca que necesita de sombra parcial (Muñoz, 2002). La luz favorece el crecimiento de tejidos jóvenes, etapa en la cual se sustenta la teoría ocurre la acumulación de los aceites esenciales. El efecto inicial se efectúa en alguno o algunos de los pigmentos de las plantas que absorben la luz. Uno de los pigmentos reguladores del crecimiento de mayor importancia es el fotocromo, que interviene en el fotoperiodismo y en general estimula la expansión de las hojas (Cronquist, 1984).

c. Humedad relativa

La humedad relativa es un factor que influye directamente en el desarrollo del cultivo de plantas aromáticas. En un invernadero, se recomienda iniciar los cultivos con una humedad relativa entre 50 a 60 %, niveles inferiores pueden provocar el cierre de estomas que a su vez reduce la fotosíntesis provocando estrés en las plantas; si la planta se encuentra en el momento de la polinización, periodos largos de humedad relativa baja provoca una deficiente o nula maduración. Por otro lado, si la humedad relativa supera los niveles de 80 a 90%, el agua se condensa en el follaje, originando las condiciones propicias para el desarrollo de ciertas enfermedades de las plantas, principalmente fungosas (Samperio, 2005).

2.4 Cultivos Hidropónicos

La palabra hidroponía proviene de los vocablos griego *hydro*, agua; y *ponos*, trabajo o actividad y se traduce como trabajo o actividad en agua. Se define a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de la planta se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y donde se utiliza un sustrato mineral inerte o simplemente la solución, en lugar de suelo (Ariza, 1999).

Presenta ventajas frente a un cultivo en suelo, ya que existe una mayor eficiencia en el uso de nutrientes, un mejor control en el desarrollo de la planta, producciones más altas y tempranas, posibilidad de mecanizar el cultivo, etc. Aunque es necesaria una alta inversión inicial, esta puede verse compensada con el volumen de la producción (Benoit y Ceustermans 1995). La hidroponía es una actividad rentable y una tecnología higiénica en la producción de plantas, que permite el incremento en la densidad de cultivo debido a la poca competencia entre raíces. Las plantas tienen el potencial de crecer 25 % más rápido, tienen un incremento en vitaminas y minerales que en un cultivo en suelo, (Skagg, 1996; Succop, 1998; Stapleton y Hochmuth, 2001). Las desventajas de este tipo de cultivo son: inversión inicial alta, abasto permanente de agua, conocimiento técnico del método, así como de fisiología vegetal y química orgánica, además de asegurar un mercado para altas producciones (Ariza, 1999).

El cultivo hidropónico de hierbas inició aproximadamente hace 15 años, ante la necesidad de proveer hierbas frescas todo el año. Sin embargo, no se han establecido controles en los nutrientes de la solución nutritiva utilizada, es decir, las concentraciones óptimas en las soluciones son aún desconocidas (Husnü, 1999).

Muchas plantas aromáticas pueden ser cultivadas con éxito mediante esta técnica, experimentos han mostrado que el cultivo hidropónico de aromáticas tienen alta productividad, acumulan 3 a 6 veces más aceite esencial por unidad de área que el cultivo en campo (Mairapetyan, 1999). Albahaca es una especie que ha sido sujeta a numerosas investigaciones, ya que responde positivamente al cultivo hidropónico (Takano, 1993; Ichimura *et al.*, 1995; Succop, 1998; Teixeira *et al.*, 2002). Aunado a lo anterior, las plantas aromáticas cultivadas en hidroponía alcanzan precios más altos en el mercado, debido a la limpieza del producto (Craker, 1999).

Aunque el orégano es una especie muy popular a través del mundo, pocos son las investigaciones que se han realizado en cuanto al cultivo hidropónico de la especie, Economakis y Fournaraki en 1993 cultivaron *Origanum vulgare ssp. Hirtum* (Link), en un sistema NFT, por un período de 120 días, el peso de hojas y flores incrementó continuamente hasta la formación de semillas, sin embargo reportaron que debido la formación de raíces adventicias fue una especie problemática para este sistema de producción.

2.4.1 Sustratos

El término sustrato en el sistema hidropónico es utilizado para designar a todo material distinto del suelo, natural, sintético, mineral u orgánico que colocado en un contenedor, en forma pura o mezcla, permite el anclaje de las raíces, desempeñando una función de soporte para la planta, generalmente no interviene en la nutrición del cultivo. Los sustratos ideales deben tener elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, elevada

porosidad total, estructura estable que impida la contracción o hinchazón del sustrato, salinidad reducida, mínima velocidad de descomposición, libre de semillas de malas hierbas, patógenos y sustancias fitotóxicas, bajo costo, fácil de preparar, manejar y desinfectar (Cadahia, 2000). Aunque no existe un sustrato ideal se han encontrado algunos intervalos en las propiedades tanto físicas y químicas que favorecen el crecimiento de las plantas. El mejor sustrato depende del tipo de cultivo, tipo y programa de riego y fertilización, del manejo del cultivo, condiciones climáticas y aspectos económicos (Cadahia, 2000).

La mayoría de los sustratos utilizados en hidroponía son de origen natural, se dividen en orgánicos (turbas, aserrín, corteza de pino, fibra de coco, cáscara de arroz, etc.) e inorgánicos, dentro de los que se encuentran aquellos que no han sufrido ningún proceso previo aparte de la homogeneización granulométrica (gravas, arenas, puzolana, etc.) y los que sufren algún tratamiento previo, que modifica totalmente la estructura de la materia prima (tezontle, perlita, vermiculita, arcilla expandida, etc.). Actualmente se utilizan también sustratos sintéticos como las espumas de poliuretano y el poliestireno expandido (Ariza, 1999).

El sustrato más utilizado en hidroponía es el tezontle o grava volcánica, un material procedente de los volcanes, formados por fragmentos de lava porosos, redondos e irregulares de 2 a 50 mm, que fueron enfriados de golpe. Existen tres tipos de tezontle utilizado en horticultura: negro, amarillo y rojo.

Es necesario que el sustrato donde se cultiven plantas aromáticas proporcione buen drenaje, ya que la mayoría de aromáticas crecen poco en suelos muy húmedos y pesados, debido principalmente a la pobre aportación de oxígeno a las raíces. El sustrato ideal debe proveer nutrientes y estabilidad a la planta, puede ser esterilizado antes de usarse para prevenir enfermedades y patógenos (Van Assche, 1995; Shores, 2004).

En 1998, Succop, realizó una investigación de producción hidropónica de *Ocimum basilicum* L., comparó tres tipos de sustratos y reportó mayor altura y peso fresco en plantas que crecieron en una mezcla de diferentes sustratos (perlita, composta de desechos de madera, peat moss), que en perlita y tezontle. Otro estudio sobre cultivo de albahaca en diferentes sustratos, fue realizado por Fernández y colaboradores en 2004, utilizaron un sustrato comercial y otro producto de una mezcla de composta y estiércol, los resultados arrojaron que las plantas cultivadas con el sustrato comercial obtuvieron mayor rendimiento que el preparado. Como puede observarse, a pesar del conocimiento sobre las características generales que deben tener los sustratos utilizados en cultivos hidropónicos, no existen recomendaciones específicas para el cultivo de aromáticas.

2.4.2 Solución nutritiva

Una solución nutritiva es la mezcla de los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Estos elementos son: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), cloro (Cl), hierro (Fe), boro (B), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo) y níquel (Ni) disueltos en agua en la

proporción en que las plantas los requieren y sin que estos compuestos se precipiten o dejen de ser solubles. Desde mediados del siglo XIX, J. Sachs diseñó una solución acuosa muy simple, constituida por 6 sales inorgánicas, que permitían a las plantas crecer y madurar en ausencia de suelo. Variaciones sobre este mismo tema han dado lugar a las soluciones nutritivas de los cultivos hidropónicos, herramienta principal a la hora de establecer la esencialidad de los nutrientes (Azcon Bieto y Talón, 2000).

Su composición química está determinada por las proporciones relativas de cationes, aniones, la concentración total de los iones (presión osmótica) y por el pH. Para conseguir que la planta absorba los nutrientes de forma óptima es necesario que estos se encuentren en concentraciones y relaciones adecuadas en la solución nutritiva. De esta forma se evitan efectos osmóticos y antagonismos que modifiquen la absorción de nutrientes por la planta (Juárez *et al.*, 2006).

Steiner en 1968, mencionó que en una solución nutritiva verdadera se tienen todos los iones en forma libre y activa, y que el pH es determinante en la disponibilidad de algunos iones. Considera valores de pH entre 5.0 y 6.0 ideales para el desarrollo de un cultivo en hidroponía, ya que la disponibilidad de los elementos es alta y se evita la precipitación de algunos de ellos.

Existen más de 300 fórmulas para preparar soluciones nutritivas, su composición química varía ampliamente, sin embargo Steiner en 1961 (Steiner 1966; Juárez *et al.*, 2006) desarrolló un método universal para la preparación de soluciones

nutritivas. La solución nutritiva Steiner, también llamada Universal se ha utilizado con éxito en muchos cultivos, además de estar apoyada por numerosas pruebas científicas realizadas por el autor, es una solución basada en el análisis de la concentración encontrada comúnmente en las plantas. Esta solución contiene 9, 4 y 7 meq L⁻¹ de Ca²⁺, Mg¹⁺ y K⁺ respectivamente. Las concentraciones de aniones son 12, 1 y 7 meq L⁻¹ de NO₃⁻, H₂PO₄⁻ y SO₄²⁻, respectivamente (Steiner, 1966). En el Cuadro 2, se indican las fuentes a partir de las cuales se pueden prepara la solución nutritiva Steiner.

Cuadro 2. Fuentes de macronutrientes utilizadas para preparar la solución nutritiva Steiner usando como aporte de fósforo al ácido fosfórico.

Fertilizante	meq L ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ¹⁺
		12	1	7	7	9	4
Ca(NO ₃) ₂ •4H ₂ O	9	9				9	
KNO ₃	3	3			3		
K ₂ SO ₄	4			4	4		
MgSO ₄ •7H ₂ O	4			4			4
H ₃ PO ₄	1		1			1	

Es necesario realizar un análisis químico del agua de riego, para conocer los nutrientes que contiene, su salinidad y por el nivel de bicarbonatos que alteran el pH (Cadahia, 2000).

En la producción de plantas aromáticas es muy importante la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento y producción de aceites esenciales. Una dosis de 200 kg ha⁻¹ para orégano y 300 kg ha⁻¹ para albahaca, favorece el rendimiento y la calidad de aceite esencial (Putievsky y Basker, 1977; Sifola y Barbierie, 2006); sin embargo, grandes cantidades de este nutriente pueden provocar reducción en el crecimiento y en la acumulación de metabolitos secundarios, además de acumulación de nitratos que son dañinos para el consumo humano (Cox, 1992).

Takano en 1993, estudió el efecto de diferentes concentraciones de potasio y calcio en la solución nutritiva, y obtuvo un incremento en el peso fresco de las plantas a menores concentraciones de estos elementos (20 meq L⁻¹). Por otro lado, Ichimura, *et al.*, en 1995, evaluó el efecto del fósforo en el crecimiento de albahaca, en dos periodos estacionales, reportó un periodo más largo de crecimiento en verano (76-84 días) y más corto en primavera (60-65 días); el peso fresco, número de hojas y área foliar total fue mayor al incrementar la concentración de fósforo.

Udagawa en 1995, evaluó la respuesta del crecimiento de *Thymus vulgaris*, en cultivo hidropónico; la mayor altura de las plantas se presentó en aquellas soluciones con un potencial osmótico de 2.4 mS/cm, mientras que el mayor peso fresco y seco de hojas y raíz se encontró a mayores concentraciones de la solución (3.6 mS/cm).

2.4.3 Riego

El objetivo de la aplicación de solución nutritiva a los cultivos sembrados en algún sustrato es con la finalidad de que las plantas no sufran estrés hídrico o que la falta de solución nutritiva pueda originar pérdidas en el volumen de cosechas e incluso, la muerte de las mismas.

Los riegos deben garantizar que se mantenga un balance de agua y nutrientes en los cultivos y en algunos casos aireación. El riego debe ser controlado, para evitar un gasto excesivo de solución nutritiva, que incrementaría los costos de producción. La cantidad y frecuencia de los riegos esta determinada tanto por la capacidad del sustrato para retener el agua, como por la transpiración de la planta y en algunos casos por la evaporación del sustrato mismo. (Samperio, 2002 y 2005).

El riego en hidroponía puede ser por subirrigación, aspersión, inundación, emisión localizada por microtubo, capilaridad, atomización raíces (aeroponía) o por goteo (Ariza, 1999).

En el caso de las plantas cultivadas en invernadero, el riego es un elemento a considerar, un exceso o escasez de humedad afectan seriamente la producción de metabolitos secundarios (Acosta, 2003).

2.5 Manejo De Las Plantas Aromáticas

2.5.1 Densidad de siembra

La densidad de siembra juega un papel importante en el comportamiento vegetativo. Antes de decidir la densidad en la que se establecerá un cultivo, se debe considerar, la altura que alcanza la planta, si se trata de una planta herbácea, leñosa, liana, etc.; si su forma de crecimiento es erecta, rastrera o muy ramificada y también el órgano que se va a cosechar, además del aprovechamiento de la energía luminosa que es captada por el follaje cuando el espacio entre plantas está totalmente cubierto. Las plantas que son espaciadas más cerca de lo recomendado y que no reciben los nutrientes necesarios, pueden producir menos follaje y disminuir su productividad. Es importante espaciar las plantas siguiendo patrones establecidos o proveer más nutrientes, más luz y más circulación de aire para cada planta, estas características se pueden obtener en un cultivo hidropónico bajo invernadero (Acosta, 2003).

La densidad de siembra recomendada para un cultivo de albahaca en el campo es de 6 a 8 pl·m⁻², para orégano de 4 pl·m⁻² y para tomillo de 4 a 5 pl·m⁻² (Muñoz, 2002), sin embargo en un cultivo hidropónico de albahaca, la densidad de siembra incrementó hasta 66 pl·m⁻², con excelentes resultados en cuanto al rendimiento del cultivo (Raimondi *et al.*, 2006).

2.5.2 Plagas comunes y su control

Otros factores externos que afectan o favorecen la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas son los patógenos que puedan atacar a este tipo de cultivos. Los insectos pueden dañar mecánicamente el follaje o dispersar

enfermedades y disminuir la calidad de las hierbas. Para encontrar la mejor opción de control, se debe reconocer el tipo de insecto y su ciclo de vida. Enfermedades virales, bacterianas o fúngicas pueden afectar seriamente el cultivo, llegando a acabar con él en cuestión de días, algunas especies son más susceptibles que otras a ciertas enfermedades. Pobre circulación de aire, alta humedad relativa, estrés nutricional, inadecuados niveles de pH, etc., pueden causar estrés en las plantas y provocar una rápida infección del cultivo, es necesario un diagnóstico acertado del tipo de enfermedad y su causante (si es necesario se debe hacer un aislamiento del patógeno en medio de cultivo). Es importante mantener vigilado el cultivo y realizar inspecciones periódicas para detectar cualquier ataque de patógenos o propagación de alguna enfermedad. (Shores, 2003).

En albahaca es común el ataque de hormigas, pulgones, mosca blanca; además es susceptible a enfermedades fungosas, especialmente *Botrytis sp* (podrición del tallo y raíz), *Pythium* y *Fusarium sp*, estas enfermedades atacan comúnmente en cultivos en invernadero durante días cortos, con alta humedad relativa (Shores, 2003; Trueman and Wick, 1996).

El orégano atrae insectos como: mosca blanca, arañas y gusanos, que deben ser rápidamente controlados, debido al daño que causan en las hojas. Enfermedades causadas por hongo (*Rhizoctonia sp*), pueden ser un problema cuando no se cosecha periódicamente, ya que existe poca circulación de aire en la base de las plantas (Shores, 2003).

Sobre la parte aérea de tomillo se destaca a veces, un amarillamiento de hojas, debido al ataque de nemátodos fitófagos (*Meloidogyne* sp), a nivel de las raíces, que provoca la muerte de la planta (Muñoz, 2002), esta especie no es atractiva para la mayoría de los insectos, enfermedades fungosas sólo se pueden presentar en densidades altas de siembra donde existe pobre circulación de aire (Shores, 2003).

2.6 Recolección

Para realizar la recolección o cosecha de plantas aromáticas, es necesario conocer el ciclo de vida de la especie elegida, que permita decidir el momento en que deben ser cortadas. Si las plantas se van a utilizar como condimento deben cosecharse justo antes de la floración, cuando alcancen suficiente altura para ser cortadas ya que tienen más sabor. No se deben coleccionar en plena floración ya que las altas concentraciones de aceites provocan cambios en el sabor de las mismas. Si las plantas se van a utilizar para extraer aceites, la cosecha debe realizarse en plena floración, ya que es el momento en que se presenta la mayor concentración de éstos (Shores, 2003).

Obtener hierbas frescas de buena calidad, se debe en gran medida al cuidado durante y después de la cosecha. Las hierbas frescas son rápidamente perecederas después del corte, ya que el tallo continúa respirando y ya no existe una fuente que provea nutrientes. Para retrasar este proceso, el mejor momento para realizar la cosecha, es durante la mañana, después de que el rocío se ha evaporado -en condiciones ambientales secas, cuando la temperatura mantiene aún la frescura de la noche; es en este momento cuando existe la mayor concentración de aceites y la

temperatura existente evita el rápido deterioro de las plantas. El corte debe efectuarse cuidadosamente, evitando daños en hojas y tallos; cada hoja, tallo y flor debe ser examinado en busca de insectos, enfermedades e imperfecciones, únicamente las mejores plantas deben ser cortadas. Las plantas enfermas o con insectos deben ser separadas para evitar contaminación a plantas vecinas (Shores, 2003).

Dependiendo de la especie, las plantas pueden cortarse de las siguiente forma: en un manojo atado en la base (cilantro, perejil, tomillo, etc.); en plantas cuyos tallos crecen a diferente altura, los tallos se cortan uno a uno hasta formar el manojo deseado (romero, hinojo, etc.); cuando se desea sólo las puntas de los tallos en floración, estos se cortan uno a uno hasta formar un manojo (Shores, 2003).

El material utilizado para realizar el corte debe estar desinfectado, las instalaciones y personas que realizan el trabajo, perfectamente limpias. Las plantas aromáticas no deben lavarse antes de empaquetarse, ya que el agua puede causar daño al follaje, deterioro más rápido, pérdida de sabor y color; cuando sea necesario lavarlas, se debe realizar con cuidado, utilizando agua fría (no helada) y secando antes de empaquetarlas (Shores, 2003).

2.7 Procesamiento

El manejo poscosecha de estas especies depende del destino de la producción, que en general tiene tres demandas principales: fresco, deshidratados o para destilería (Hernández, 2003).

Las plantas utilizadas para el consumo en fresco requieren cuidados especiales, muchas hierbas pueden ser empacadas a granel, manojos o colocadas directamente en bolsas de polietileno, cajas de plástico o cartón diseñadas para este propósito (Hernández, 2003). Para mantener la frescura y calidad de las hierbas deben empaquetarse y colocar a temperatura bajas (4-5°C) inmediatamente o perderán rápidamente su frescura, color y sabor (Shores, 2003).

Es común someter a estas especies a un proceso de secado, para facilitar su manejo y conservarlas hasta por varios años. Este proceso consiste en la remoción de la humedad a través del manejo de la temperatura. Con este proceso disminuye el agua libre en el producto, lo que limita el crecimiento microbiano y detiene reacciones enzimáticas. Además, disminuye el volumen y el peso del producto, lo que permite bajar costos de almacenamiento y distribución. El método y las condiciones de secado son importantes pues influyen en la conservación del producto y en la efectividad de los principios activos y por lo tanto, en su calidad (FIA, 2003).

Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de realizar el secado de plantas aromáticas: iniciar a la brevedad después de la cosecha, debe ser rápido y homogéneo, el tamaño del producto debe estar previamente determinado, la temperatura de secado no debe ser superior a 30°C, las instalaciones, bandejas y equipo de secado deben estar limpios (FIA, 2003).

Existen dos tipos de secado: el secado natural y el secado artificial. El primero ofrece la gran ventaja de su bajo costo, pero depende totalmente de las condiciones ambientales y hace difícil la obtención de un producto homogéneo y, por lo tanto de calidad. Para realizar esta técnica, se recomienda colocar el material sobre bandejas perforadas, mantenerlo a la sombra, distribuirlo en capas delgadas, permitir la circulación del aire y mover el material frecuentemente. El secado artificial permite el control de variables, es rápido y facilita la obtención de un producto homogéneo y de calidad. El problema es su alto costo, por el consumo de energía y las instalaciones y equipos requeridos (FIA, 2003).

Si el material se destina a la obtención de la esencia debe dejarse orear a la sombra por algunas horas o secarse a la sombra. Luego se procede a la destilación y obtención del aceite esencial por arrastre por vapor de agua.

2.8 Aceites Esenciales

Los aceites esenciales son compuestos orgánicos, producto del metabolismo secundario (denominados metabolitos secundarios), que se pueden encontrar en todos los órganos vegetales: flores, hojas, raíces, rizomas, tallos, cortezas, frutos o semillas. Aunque todos los órganos de una misma especie pueden contener aceite esencial, su composición puede variar según su localización (Bruneton, 1996). Su concentración varía en función del clima, tipo de suelo, nutrimentos, etapa fenológica, especie y variedad.

Los aceites esenciales se encuentran casi exclusivamente en vegetales superiores, concretamente en ciertas familias de Angiospermas, de las cuales destacan: Coníferas (*Pinus* sp), Apiáceas o Umbelíferas (anis, hinojo), Lauráceas (canela), Asteráceas o Compuestas (manzanillas), Mirtáceas (eucalipto, clavo), Rutáceas (cítricos) y Labiadas o Lamiáceas (menta, orégano, tomillo y albahaca) que incluye unas 3000 especies aromáticas, con distribución cosmopolita, alrededor del mundo (Kuklinski 2003).

La síntesis y acumulación de un aceite esencial, generalmente va asociada a la presencia de estructuras histológicas especializadas, localizadas en determinados puntos de otros tejidos, frecuentemente situadas sobre o en la proximidad de la superficie de la planta, estas formaciones son: células con aceites, tricomas secretores, cavidades secretoras y canales secretores (Bruneton, 1996; Paré y Tumlinson, 1999).

La volatilidad y el marcado olor de estos aceites, constituyen los elementos de la comunicación química: su papel en la polinización y en la dispersión de las esporas no se discute. A menudo constituyen un medio de defensa frente a depredadores (microorganismos, hongos, insectos, herbívoros) y a veces parecen tener una acción teletóxica sobre las germinaciones; estas acciones se facilitan por la localización periférica de los elementos secretores (Bruneton, 1996). No se consideran esenciales para la vida en los vegetales en los que se producen, sin embargo, cumplen funciones importantes en el vegetal como la protección de la planta contra la radiación ultravioleta, animales herbívoros y patógenos, así como la

atracción de polinizadores (Paré and Tumlinson, 1999; Kessler y Baldwin, 2001; FIA, 2003; Dudareva *et al.*, 2004).

La composición química resulta de una mezcla compleja que puede proceder de numerosos componentes (a veces más de 200), entre los que se encuentran ácidos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, fenoles, etc. Los compuestos más frecuentes derivan biogenéticamente del ácido mevalónico; se les cataloga como monoterpenoides (C₁₀) y sesquiterpenoides (C₁₅) (Domínguez, 1985).

Los metabolitos secundarios pueden proceder de tres rutas biosintéticas (Cuadro 3): ruta del ácido shikímico, ruta del acetato-malonato y ruta del acetato-mevalonato, como se muestra en la tabla (Kuklinski, 2003):

Cuadro 3. Procedencia de metabolitos secundarios (Kuklinski, 2003).

Compuesto	Ruta
Ácidos fenólicos	Ruta del ácido shikímico
Taninos	Ruta del ácido shikímico
Lignanos y cumarinas	Ruta del ácido shikímico
Flavonoides	Ruta del ácido shikímico y ruta del ácido mevalónico
Alcaloides	Ruta del ácido shikímico y ruta del ácido mevalónico
Esteroides	Ruta del ácido mevalónico
Terpenos	Ruta del ácido mevalónico
Antraquinonas	Ruta de los policétidos

Los aceites esenciales son generalmente líquidos a temperatura ambiente aunque algunos solidifican a baja temperatura; la mayoría son prácticamente transparentes, incoloros o ligeramente coloreados; algunos aceites esenciales suelen ser inflamables; generalmente son más densos que el agua aunque hay excepciones como las esencias de clavo y canela; suelen ser insolubles en agua, aunque algunos como los fenoles son parcialmente solubles; son lipófilos y solubles en disolventes orgánicos apolares (hexano, éter etílico, etc.); la solubilidad en alcohol es variable; poseen índices de refracción elevados y presentan actividad óptica (tienen poder rotatorio); se oxidan con facilidad y polimerizan dando productos resinosos (Kuklinski, 2003).

El rendimiento de aceite esencial obtenido de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal, hasta 1 a 3%. Porcentajes elevados como en los botones de clavo (15%), son excepcionales. Su composición puede variar de acuerdo a la época de recolección, el lugar geográfico, la especie y variedad (Domínguez, 1985).

2.8.1 Extracción

Para la extracción de los aceites esenciales existen diferentes métodos (Kuklinski, 2003):

a. Extracción mecánica

Permite obtener los principios activos de la planta, se puede realizar por: expresión (ejerciendo presión sobre la planta), con calor y mediante incisiones por las que fluyen los componentes de la planta.

b. Destilación

Se basa en la diferente volatilidad de los componentes de la esencia, que permite la separación de los componentes volátiles de otros que son menos volátiles: se hacen destilaciones por arrastre con vapor de agua o hidroestilación. el material se coloca en un matraz bola por donde se hace pasar una corriente de vapor de agua, que arrastra los aceites; a continuación se condensa el vapor de agua que se recoge en otro matraz y así se pueden separar los aceites del agua debido a su diferente densidad.

c. Extracción con gases en condiciones supercríticas

Se trabaja con dispositivos especiales donde es posible controlar la temperatura y presión, la extracción con gases suele ser muy selectiva y posteriormente es relativamente sencillo eliminar el gas extractor, pero resulta costoso y es difícil encontrar las condiciones óptimas de presión y temperatura.

d. Extracción con disolventes

Se pone en contacto el material vegetal con un disolvente capaz de solubilizar los aceites esenciales, estos deben pasar al disolvente para posteriormente concentrarlo eliminando la mayor cantidad del disolvente, es una técnica usada frecuentemente. El material debe trabajarse seco y fraccionado para facilitar el máximo contacto entre los aceites y el disolvente.

e. Extracción con grasas

Se transfieren los aceites esenciales de la planta a una sustancia grasa, generalmente de origen animal. El enflorado utiliza grasa como disolvente y es utilizado principalmente para pétalos de flores. La digestión de la esencia en grasa

fundida se realiza en caliente, poniendo el material vegetal en contacto con la grasa, la esencia se transfiere a esta última.

2.8.2 Estudios fitoquímicos

Los principales métodos fitoquímicos de aislamiento y purificación de aceites esenciales son los cromatográficos, que consisten en la separación de los componentes de una mezcla debido a la diferente velocidad de elusión a través de una fase estacionaria (un sólido poroso o un líquido retenido en un soporte sólido) cuando la muestra es transportada por una fase móvil (eluyente: puede ser líquido o gaseoso) tienen utilidad cualitativa (identificación) y cuantitativa (determinación). Las principales técnicas cromatográficas en el análisis de aceites esenciales son:

a. Cromatografía de capa fina (CCF)

La fase estacionaria es un sólido poroso (normalmente sílica gel), formando una capa delgada sobre una placa metálica o de vidrio. Una vez colocada la muestra, la placa se coloca verticalmente en un recipiente hermético que contiene eluyente (fase móvil) en el fondo. El eluyente fluye en sentido ascendente arrastrando los diferentes componentes de la mezcla a velocidades diferentes, con lo que se consigue la separación. Las sustancias analizadas pueden verse a simple vista o en el ultravioleta, se utilizan reactivos reveladores específicos para cada tipo de sustancia. Un revelador común en el análisis de aceites esenciales es vainillina-ácido sulfúrico (Kuklinski, 2003).

b. Cromatografía de gases (CG)

Es una cromatografía gas-líquido que se aplica a sustancias volátiles o que pueden ser derivados volátiles. La fase estacionaria es en líquido retenido sobre un soporte sólido, está dispuesto en una columna. La fase móvil es un gas inerte (gases nobles, nitrógeno, etc.). La columna está introducida en un horno porque se trabaja a temperatura elevada e incluso con gradientes de temperatura, la CG puede estar asociada a otras técnicas complementarias como la espectroscopia de masas (Kuklinski, 2003).

2.8.3 Factores que afectan la calidad de los aceites esenciales

La calidad de los 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, que tienen utilidad para el hombre. Los aceites esenciales requieren calidad aromática, para ser utilizados en perfumería; calidad de consumo, para ser utilizados en productos para la salud y calidad para usos industriales. Por ejemplo, el aceite esencial de tomillo y orégano se puede considerar de calidad si presenta un porcentaje elevado de los fenoles timol y/o carvacrol, ya que estos metabolitos secundarios presentan gran poder contra bacterias y hongos. Por lo que respecta al aceite esencial de albahaca, la calidad se mide por el porcentaje que presenta de linalol y E-cinamato de metilo, que tienen efecto contra bacterias ácido tolerantes provenientes de alimentos (Acosta, *et al.*, 2003). Existen diversos factores que afectan la calidad de los aceites esenciales:

a. Origen botánico

La composición de un aceite esencial esta en función de la especie productora, ya que en el mercado abundan productos, en los que la denominación botánica no es la correcta.

b. Órgano de la planta involucrada

La distribución de los aceites esenciales varía entre un órgano y otro en la planta, de modo que no todas las partes del vegetal tienen el mismo olor y sabor. Es importante conocer que órgano es el que contiene mayor cantidad de aceites esenciales, con la finalidad de obtener un producto con las características saborizantes requeridos.

c. Concentración de aceites esenciales

Los aceites esenciales se forman en determinados momentos del ciclo de vida de la planta, es indispensable conocer este ciclo para su manejo.

d. Manejo poscosecha

Es un aspecto que influye en la calidad, ya que las características organolépticas disminuyen progresivamente una vez cosechada la planta, además el proceso de secado se debe realizar inmediatamente después de la cosecha y la temperatura no debe rebasar los 30°C a la sombra para evitar volatilizar los aceites esenciales.

e. Impurezas

La calidad de un producto puede verse seriamente afectada por impurezas como las malezas, el polvo, agroquímicos o insectos, entre otros, en la etapa del cultivo y posteriormente por plagas en el producto almacenado y humedad ambiental, factores que afectan la calidad de los aceites esenciales y color del producto.

2.9 Calidad De Plantas Aromáticas

Los componentes de calidad de las hierbas culinarias son principalmente visuales: frescura, uniformidad de tamaño, forma y color, libre de defectos como hojas dañadas, amarillamientos y evidencia de senescencia (Hernández, 2003).

El nivel de calidad que se tiene en poscosecha depende del manejo durante la producción y cosecha del cultivo, las plantas que crecen bajo regímenes óptimos de humedad y temperatura, generalmente no se deterioran tan fácilmente como las plantas que crecen bajo estrés. La etapa fonológica en que se realice la cosecha afecta directamente la calidad de la planta aromática (Hernández, 2003).

Hoy en día, el mercado de las plantas aromáticas está bastante normado en cuanto a requerimientos de calidad y sanidad para acceder a mercados internacionales, sobretodo a los que reportan las mayores ganancias. Las exigencias varían dependiendo de la especie, del mercado de destino y del cliente (Cuadro 4). Las normas básicas que deben cumplirse para poder exportar aromáticas son las siguientes: autenticidad de la especie y de la parte usada; color y aroma; límite de contenido de palos y materia extraña; limite en el contenido de polvo y que cumpla con los requerimientos fitosanitarios de exportación.

Cuadro 4. Especificaciones de la calidad mínima albahaca, orégano y tomillo.

Especie	Cenizas totales % valor máximo	Humedad % Valor máximo	Aceites esenciales %
Albahaca (BSI)	16	12	0.5 (ESA)
Orégano (BSI)	10	12	1.5 (ESA)
Tomillo (ISO)	14 (ISO)	12	1

BSI: British Standard Institute, **ESA:** European Spice Association, **ISO:** Indian Standards Institute

3. OBJETIVO GENERAL

Determinar la producción y calidad de tres especies aromáticas cultivadas en hidroponía.

3.1 Objetivos específicos

1. Evaluar la producción de las especies en dos concentraciones de la solución nutritiva Steiner a 100 y 50%.
2. Evaluar la producción de las especies en tres densidades de cultivo: 14, 28 y 71 $\text{pl}\cdot\text{m}^{-2}$, respectivamente.
3. Determinar el contenido y calidad de aceites esenciales, de las tres especies aromáticas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, en el Estado de México a 19°29' latitud Norte y 98°54' longitud Oeste a una altitud de 2,240 m, durante el período comprendido entre el 19 de mayo al 21 de septiembre de 2006. El clima predominante en esta zona se clasifica como 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 de 644.8 mm (García, 1987).

4.1 Material Vegetal

4.1.1 Albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Su nombre genérico deriva de la palabra griega *ókimon*, oloroso, en alusión a la fragancia de sus hojas. El nombre específico proviene de la palabra *basilikon*, real o regio, expresando su carácter principal.

Es una planta herbácea anual, de tallos erectos y ramificados, que alcanza de 30 a 50 cm. de altura. Las hojas de 2 a 5 cm. Son opuestas, pecioladas a ovadas, lanceoladas y ligeramente dentadas. Las flores son blancas o ligeramente púrpuras, dispuestas en espigas alargadas, axilares, en la parte superior del tallo o en los extremos de las ramas. El fruto está formado por cuatro aquenios pequeños y lisos. Las hojas y subunidades floridas son las partes útiles.

Se recomienda recolectar en plena floración cuando se destina a obtener esencia, con un ligero oreo a la sombra y antes de abrir las flores con un secado rápido entre 30 y 35°C, si se va a utilizar para herboristería, cortando de forma manual los brotes jóvenes a 15 cm de longitud. Se propaga por semilla, su poder germinativo es de un 85% a una temperatura promedio de 20 a 25°C.

El aceite esencial contiene metilchavicol o estragol, eugenol, linalol, acetato de linalino, alcanfor, o-cimeno y pineno. Esta esencia es usada en perfumería y cosmética, además en la preparación de productos bucales, en licorería y alimentación (Muñoz, 2002).

4.1.2 Orégano francés (*Origanum vulgare* L.)

Su nombre genérico proviene de los vocablos griegos *oros*, montaña y *ganos*, adorno, en alusión al carácter ornamental de esta especie. El nombre específico expresa lo frecuente de su presencia.

Planta herbácea, perenne, con rizoma rastrero, de tallos erguidos que puede alcanzar 70 cm. de altura, generalmente ramificado en su parte superior, de color rojizo. Hojas de 1 a 4 cm., ovales, enteras, puntiagudas, cubiertas de tricomas por el envés, pecioladas. Las flores son pequeñas, agrupadas en inflorescencias, de color violeta a blancas. Florece de julio a octubre.

La parte útil son las hojas y subunidades floridas, se recomienda recolectar en el momento de la floración, antes de que abran todas las flores. El secado debe efectuarse con la mayor rapidez posible a una temperatura de 30° C. Es una especie altamente aromática, se comercializa la planta seca o las hojas solamente (Muñoz, 2002).

Es una especie, que aunque es resistente a las heladas, tira sus hojas en invierno como medida de protección. Se multiplica por semillas o por división de pies. El aceite esencial presenta terpenos fenólicos, en su mayoría timol (5%) y carvacrol (70%), con propiedades anti-infecciosas y con numerosos usos en medicina, aunque puede presentar numerosos compuestos más.

4.1.3 Tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Su nombre genérico proviene del verbo griego *Thym*, perfumar, en alusión al intenso y agradable aroma de la planta. El nombre específico expresa su frecuente presencia.

Planta aromática, leñosa, que puede alcanzar una altura entre 10 a 40 cm., con numerosas ramas erectas, pardas o aterciopeladas. Las hojas de 3 a 8 mm. Son lineales, oblongas, sentadas o brevemente pediceladas, opuestas, sin cilios, con el pecíolo o sus márgenes revueltos hacia abajo y blanquecinas por su envés. Las flores de color blanco o rosa, son axilares y agrupadas en la extremidad de las ramas, formando una especie de capítulo terminal, algunas veces con inflorescencia interrumpida. Brácteas verde grisáceas y el fruto es un tetra-aquenio, lampiño de

color marrón. Florece desde marzo en adelante. La parte útil son las hojas y subunidades floridas. Es una especie muy variable, tanto en su fenología como en la composición química de su aceite esencial, en el que se han detectado siete quimiotipos.

Se recomienda recolectar en dos etapas: antes de floración para herboristería y en plena floración para obtención de aceites esenciales.

El aceite esencial contiene carvacrol y timol en altos porcentajes, además pueden contener p. cimeno, p. terpinenos, linalol, borneol, geraniol, cariofileno. El aceite esencial se usa en farmacia y veterinaria como antiséptico, tónico, vermífugo y cicatrizante, además en perfumería y cosmética (Muñoz, 2002).

4.2 Elaboración de Almácigos

Las semillas de las tres plantas aromáticas, se sembraron en charolas de 200 cavidades (2 charolas por especie) con sustrato orgánico tipo "Peat Moss". En cada cavidad se sembraron de 4 a 5 semillas a una profundidad de 3mm aproximadamente para asegurar un alto porcentaje de germinación.

Los riegos se aplicaron superficialmente, con agua corriente dos veces al día, hasta la germinación de las plántulas, posteriormente con solución nutritiva Steiner diluida al 50% una vez al día.

4.3 Establecimiento Del Experimento

Cuando las plántulas presentaron 4 o 5 hojas verdaderas se trasplantaron a camas que contenían tezontle. El riego se realizó con agua corriente los dos primeros días y a partir del tercero con solución nutritiva.

4.4 Cultivo Hidropónico

El sistema hidropónico estuvo integrado por los siguientes elementos.

4.4.1 Contenedores

Con plástico transparente de invernadero y varillas de 40 cm de largo, se construyeron 24 camas, cada una de un área de $0.60\text{m} \times 2.10\text{m} = 1.26 \text{ m}^2$ y una altura de 0.20 m de altura (Fig. 1), en cada una se sembró una especie, en tres diferentes densidades.

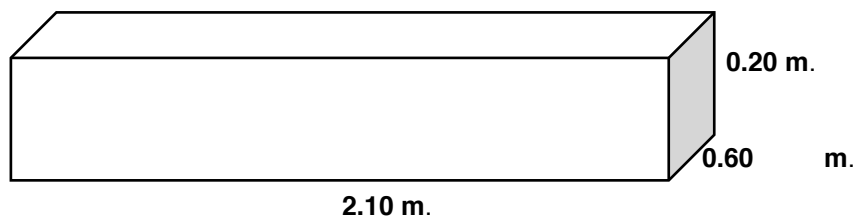


Fig. 1 Cama donde fueron sembradas las plantas, de un área total de 1.26 m^2 ($2.10 \times 0.60 \times 0.20 \text{ m}$).

4.4.2 Sustratos

Se utilizó tezontle en dos granulometrías que se distribuyeron en las camas de la siguiente manera: Una capa inferior de 4 cm de altura aproximadamente, con tezontle de un diámetro aproximado de 2 cm. En la capa superior de 16 cm. de altura, se colocó tezontle más fino de 3 a 5 mm de diámetro.

Para prevenir enfermedades y plagas, el sustrato se lavó y desinfectó con hipoclorito de sodio al 5%, diluyendo 1 L en 100 L de agua, posteriormente se lavó nuevamente, hasta eliminar residuos del desinfectante; una vez escurrido se procedió a llenar las camas.

Las camas se dividieron cada 70 cm, con placas de unicel que cumplieron la función de separar cada una de las densidades de siembra.

4.4.3 Sistema de riego

El sistema de riego por goteo, estuvo integrado por dos tanques de 200 L, colocados al nivel del suelo, las soluciones fueron distribuidas con una bomba de 0.250 hp. La red de distribución de los tanques a las camas estuvo integradas por sistema de mangueras de plástico, de 13 mm de diámetro, goteros de 4 salidas, con un gasto nominal de $4 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, micro tubos de 1 mm de diámetro y 4 estacas para cada densidad de siembra. Cada densidad de siembra (0.42 m^2) tuvo un gasto diario de 1.33 L de solución nutritiva.

4.4.4 Soluciones nutritivas

Con la finalidad de realizar los ajustes necesarios de aniones y cationes al momento de preparar la solución nutritiva, se realizó un análisis químico del agua del invernadero, previo a la preparación de dichas soluciones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis químico del agua utilizada para preparar las soluciones nutritivas

pH	CE ds/m	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄ me L ⁻¹	TOTAL L	Mg	Ca	Na	K	Total
							me L ⁻¹				
6.6	0.388	0.0	2.8	0.50	0.66	3.96	1.6	1.2	0.5	0.08	3.38

Se utilizó la Solución Nutritiva Steiner Universal, propuesta por Steiner en 1961 y modificada por el en 1984 (Steiner, 1984). Esta solución fue preparada con fertilizantes comerciales, que aportaron los macro y micronutrientes necesarios para estas especies, en los Cuadros 6 y 7 se presentan las concentraciones de fertilizantes ajustadas después del análisis químico del agua.

Cuadro 6. Cantidad de macronutrientes aportadas a la solución nutritiva Steiner, de acuerdo con el análisis químico del agua.

Fuente	Para 100 L⁻¹ (100%)	Para 100 L⁻¹ (50%)
H ₂ PO ₄	8 mL	4 ml
Mg SO ₄ - 7H ₂ O	35.7 g	17.85 g
Ca (NO ₃) ₂ - 4H ₂ O	92.1 g	46.05 g
KNO ₃	42.4 g	21.20 g
K ₂ SO ₄	29.9 g	14.95 g
Micros	100 ml	100 ml
Fe EDTA	2.2 g	1.1 g

Cuadro 7. Concentración de micronutrientes en la solución nutritiva Steiner.

Fuente	g•L⁻¹
H ₃ BO ₃	2.88
Mn Cl ₂ • 4H ₂ O	1.81
ZnSO ₄ • 7H ₂ O	0.22
CuSO ₄ • 5H ₂ O	0.18
Na ₂ MoO ₄ • 2H ₂ O	0.02

Un mL por litro de solución nutritiva.

Se trabajó con la misma solución nutritiva en dos concentraciones, en la **S1** se aportaron el 100 % y en la **S2**, el 50%, mientras que los micronutrientes y Fe EDTA se mantuvieron al 100%. La razón para mantener la concentración de micronutrientes al 100% en ambas soluciones es que se trabaja con cantidades muy pequeñas.

El pH de ambas soluciones se determinó cada tercer día con un potenciómetro y se ajustó a 5.5, con ácido sulfúrico (aproximadamente 7 ml/200L).

4.5 Densidades De Siembra

Se establecieron tres densidades de siembra, **D1**: 14, **D2**: 28 y **D3**: 71 pl·m⁻² respectivamente (Cuadro 8). Considerando que las camas por densidad son de 70 x 60 cm en la Figura 2 se muestra la distribución de las plantas.

Cuadro 8. Densidades de siembra para cada una de las especies aromáticas.

Factor Densidad	Distancia entre plantas (cm)	No. de plantas m ⁻²	Plantas/especie/por solución/con 4 repeticiones
1	20	14	48
2	15	28	96
3	10	71	240

La distribución gráfica de la distribución de las plantas por densidad de siembra de 0.42 m², en cada densidad se muestra en la Figura 2.

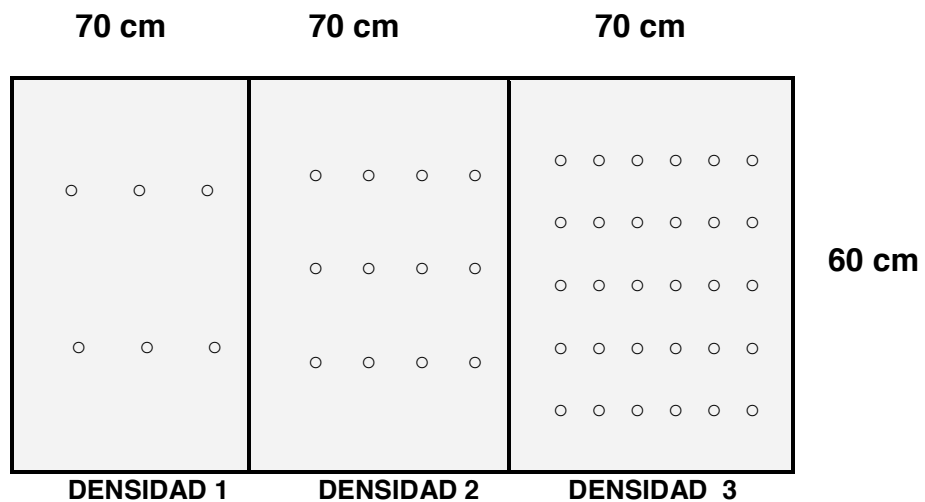


Figura 2. Distribución de las diferentes densidades de siembra en cada una de las terrazas.

4.6 Diseño Experimental Y Tratamientos

Para cada especie se estableció un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones con un arreglo factorial 3X2, para los dos factores (densidad y solución), de tratamientos. La unidad experimental estuvo constituida por 0.42 m², para cada combinación de densidad de siembra y solución (Figura 3). Por facilidad de manejo se trabajaron las tres especies de manera simultánea en el arreglo de campo.

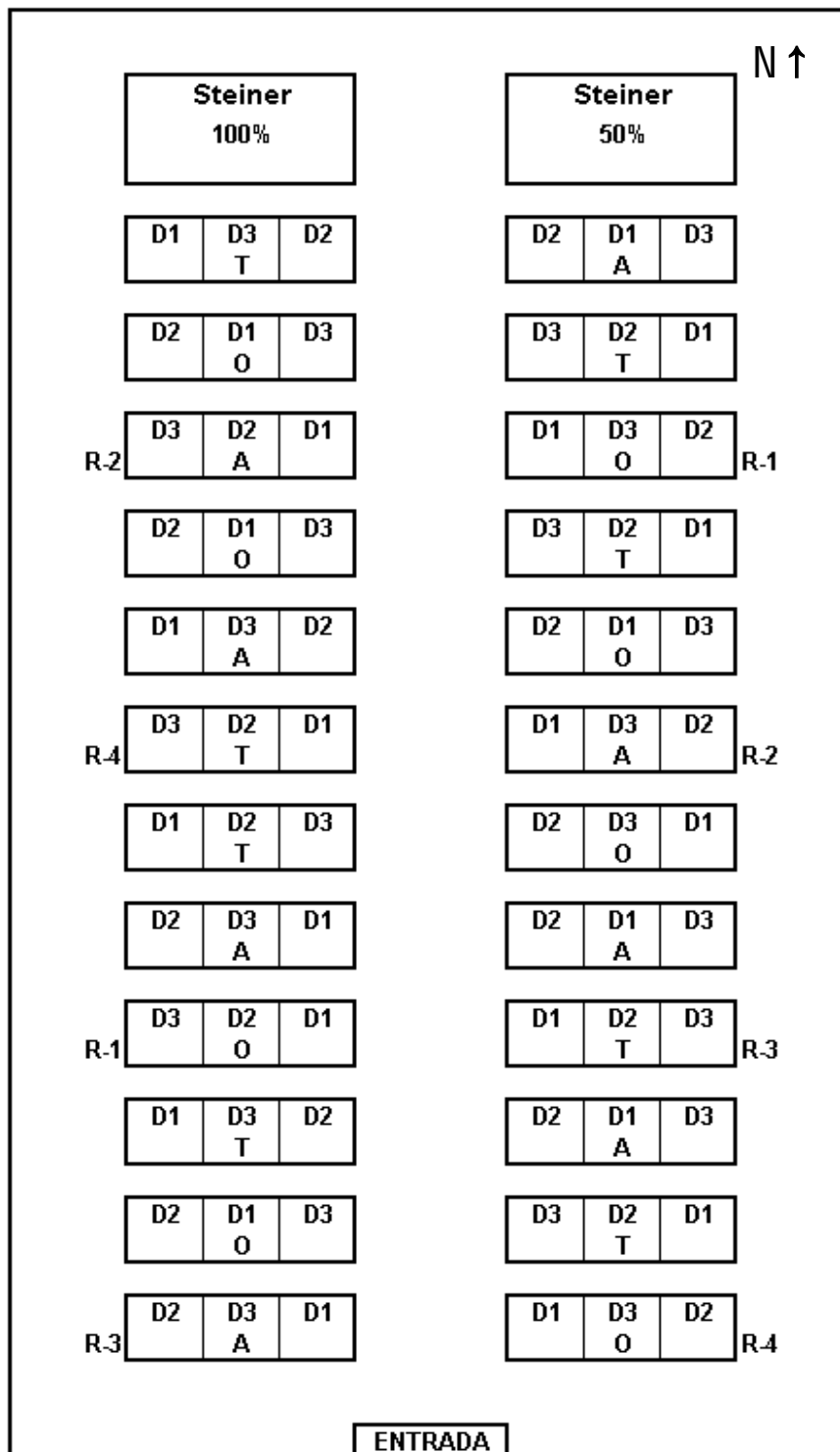


Figura 3. Plano de distribución de las camas en el invernadero. **D:** densidad de siembra (D1:14, D2: 28 y D3:72 pl·m⁻²); **R:** repetición; **O:** orégano; **T:** tomillo; **A:** albahaca.

4.7 Variables Evaluadas Durante El Desarrollo Del Cultivo

Con la finalidad de evaluar el crecimiento, se midieron en tres plantas por densidad de siembra y por repetición, las siguientes variables desde el momento del transplante hasta la cosecha.

4.7.1 Altura de la planta

Se midió en tallo principal una vez por semana, con una regla graduada en milímetros. Los resultados se reportan en cm.

4.7.2 Diámetro del tallo

Se midió en la parte media del tallo principal cada 5 días, con un vernier digital marca "Caliper". Los resultados se expresan en mm.

4.7.3 Días a floración

El registro de los días a floración, se inició desde el día después del transplante hasta que inició la floración en las plantas.

4.8 Variables evaluadas a la cosecha

Debido a que la calidad del producto fresco y de los aceites esenciales disminuye progresivamente una vez cosechada la planta, la cosecha se realizó en el momento que iniciaba la floración, de acuerdo a lo recomendado por Muñoz (2002), para albahaca y tomillo. Las plantas de orégano se cosecharon a los 90 días, cuando la

floración sólo había iniciado en tres plantas regadas con la solución a 50% y las densidades 28 y 71 pl·m⁻².

Para determinar el efecto de las soluciones nutritivas y diferentes densidades de siembra en el desarrollo de las plantas, al momento de la cosecha se evaluaron las siguientes variables, en tres plantas de cada unidad experimental..

4.8.1 Tamaño de la hoja

Con un vernier digital marca "Caliper", se midió la longitud final de una hoja, (seleccionada desde el inicio del cultivo) desde la base, hasta la punta de la misma. Los resultados se expresan en mm.

4.8.2 Peso fresco de parte aérea y raíz

Las plantas fueron extraídas completamente de las camas teniendo cuidado de no romper las raíces. Después de eliminar el sustrato de la parte radical, las plantas se fraccionaron (con una navaja), en raíz y parte aérea y fueron inmediatamente pesadas por separado en una balanza digital marca ACCULAB VI-3mg. Los resultados se expresan en g.

4.8.3 Peso seco parte aérea y raíz

El material (raíz, hojas y tallos) de cada planta cosechada, se colocó en bolsas de papel estraza para ser secado en una estufa LC-Oven LAB-LINE por 4 o 5 días, a una temperatura máxima de 25°C, hasta que obtuvieron un peso constante. Los resultados se expresan en gramos.

4.8.4 Número de hojas por planta

Por conteo manual, se obtuvo el número total de hojas por planta, de cada uno de los tratamientos establecidos.

4.8.5 Área foliar total

Con un integrador de área foliar (LI-COR-MODLI-3100), se determinó el área foliar total de las plantas seleccionadas en la unidad experimental (3). Los resultados se expresan en cm².

4.8.6 Aceites esenciales

Se probaron dos técnicas de extracción de aceites esenciales para lo cual se utilizaron 3 plantas por unidad experimental, secadas a la sombra, en un cuarto bien ventilado, con condiciones ambientales de temperatura entre 20 y 22 °C.

4.8.6.1 Extracción en frío

- a. De cada especie, solución, densidad y repetición se pesó 1 g de material vegetal.
- b. Se colocaron en tubos de cultivo y se le agregaron 10 mL de diclorometano.
- c. Los tubos se agitaron por 15 minutos, a velocidad media, en un agitador marca Heidolph Multi Reax.
- d. Se dejaron reposar 3 minutos y se filtraron con papel filtro del No. 12 marca Whatman.

e. Las muestras fueron refrigeradas hasta utilizarlas.

4.8.6.2 Extracción por destilación por arrastre con vapor de agua

a. 35 g de material seco fueron colocados en un embudo bola de tres entradas, que fue conectado a un equipo de destilación por arrastre con vapor de agua. De este procedimiento se obtuvo 150 ml de destilado.

b. Este destilado fue colocado en un embudo de separación y se le realizaron 3 extracciones con diclorometano (de 50 ml cada uno) para separar la fase acuosa del aceite.

c. Al diclorometano recuperado se le agregaron de 3 a 5 g de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4), para absorber el agua que pudo haber quedado en la muestra.

d. La muestra se concentró en un rotoevaporador (mca. Brinkmann) hasta que todo el diclorometano fue separado, a una temperatura del agua entre 40 y 50°C.

4.8.6.3 Análisis de aceites esenciales por cromatografía

Debido a que la concentración y variedad de los componentes de aceites esenciales en plantas aromáticas, son determinantes para establecer la calidad de estas plantas, se realizó el análisis mediante las siguientes técnicas fotoquímicas..

l) Cromatografía de capa fina

a. Con una microjeringa, se aplicaron 50 μL de cada muestra, en una placa de sílica gel de 20x20, en cada placa se aplicaron 12 muestras (1 de cada densidad y repetición).

- b. En las mismas placas se aplicaron estándares para cada especie, de acuerdo a los reportados en la literatura: para albahaca, eugenol y linalol, para orégano y tomillo carvacrol y timol.
- c. Las placas se colocaron en una cámara con el siguiente eluyente: tolueno-acetato de etilo (93:7), hasta que este ascendió a la línea marcada.
- d. Cuando las placas se secaron, se revisaron a la luz ultravioleta para marcar manchas correspondientes a los compuestos de los aceites esenciales.
- e. Las placas fueron asperjadas con un revelador de vainillina - Acido Sulfúrico y se calentaron 5 min a 100°C. en una estufa marca LC-Oven LAB-LINE.
- f. Se marcaron las manchas obtenidas para obtener el Rf, que es simplemente la manera de expresar la posición de un compuesto sobre una placa como fracción decimal, mide la retención de un componente. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$R_f = \frac{\text{Distancia recorrida desde el origen por el compuesto}}{\text{Distancia recorrida desde el origen por el frente del eluyente}}$$

La distancia recorrida por el compuesto se midió desde el centro de la mancha. El máximo valor de *RF* que se puede alcanzar es de 1, lo ideal es un *RF* entre 0.65 y 0.7. Se realizó la comparación correspondiente con los estándares elegidos de acuerdo a la literatura.

II) Cromatografía de gases

La composición química de los aceites esenciales de albahaca, orégano y tomillo 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 Aligiannis *et al.* (2001).

- a. Columna HP 19091S-433, de 30 m de longitud x .25 mm de diámetro interno y .25 μ grosor de la fase estacionaria.
- b. 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.
- c. Se utilizó Helio como gas acarreador, a una presión inicial de 8.23 psi y a una velocidad lineal de 37 cm•seg⁻¹, con un flujo inicial de 1.0 ml•min⁻¹.
- d. Se inyectó 1 μ L de muestra diluida en hexano grado HPLC (1 μ L de muestra en 10 mL de hexano)
- e. Carvacrol, eugenol, linalol y timol fueron usados como estándares, los compuestos fueron identificados por comparación del espectro de masas, y los índices de retención con los datos reportados en la literatura.

4.9 Análisis estadísticos

El análisis de los datos se realizó con análisis de varianza y comparaciones de medias de Tukey, con el paquete estadístico SAS versión 6.1 (SAS, 1994).

5. RESULTADOS

5.1 Albahaca

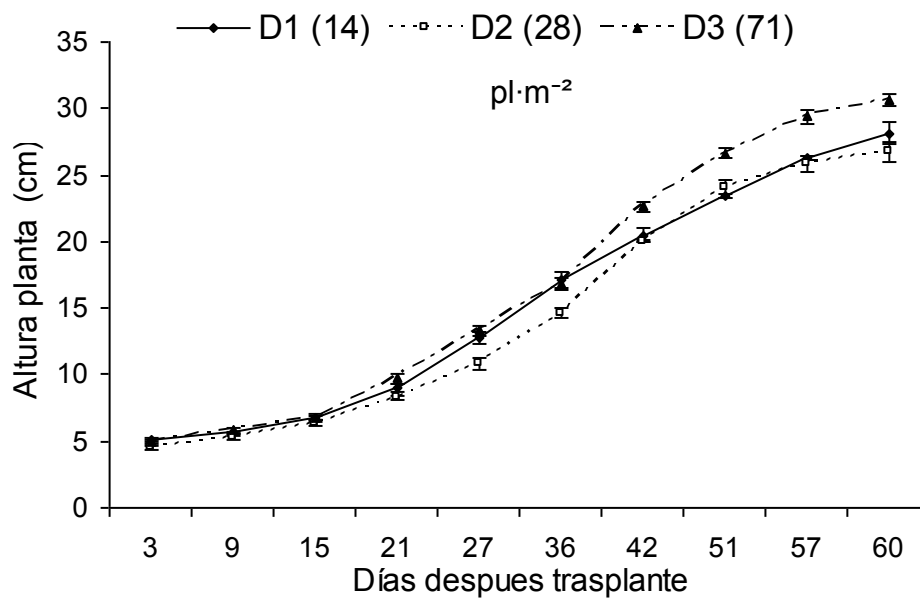
5.1.1 Variables de crecimiento

La altura de la planta fue afectada por los factores solución nutritiva y la interacción solución nutritiva y densidad de siembra (Cuadro 9). Cabe mencionar que al momento del transplante, se seleccionaron plantas con características similares, de tal forma que la mayoría presentaba valores cercanos de altura. Sin embargo, a los 21 días después del transplante (DDT), con la solución S1 (100%), las plantas de la densidad D3 (71 pl·m⁻²), ya alcanzaban 9.70 cm de altura y mostraban diferencias significativas respecto a las plantas que crecieron en la misma solución pero en las densidades D1 y D2 (Figura 4 y Apéndice 1). Las plantas que se desarrollaron en la solución S2 (50%), en las tres densidades de siembra, alcanzaron para la misma fecha de muestreo, una altura promedio de 8 cm (Figura 5). En general, las plantas crecidas con la solución Steiner al 50%, tuvieron valores de altura de la planta menores a los de las plantas cultivadas con la de 100%. Los valores más altos con la solución S2 se alcanzaron en las densidades D1 y D2, seguidos por la densidad D3 (Figura 5 y Apéndice 1). De acuerdo con el análisis estadístico el tratamiento S1 D3 fue considerado el mejor para esta variable.

Cuadro 9. Valor de p del análisis de varianza para altura final de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

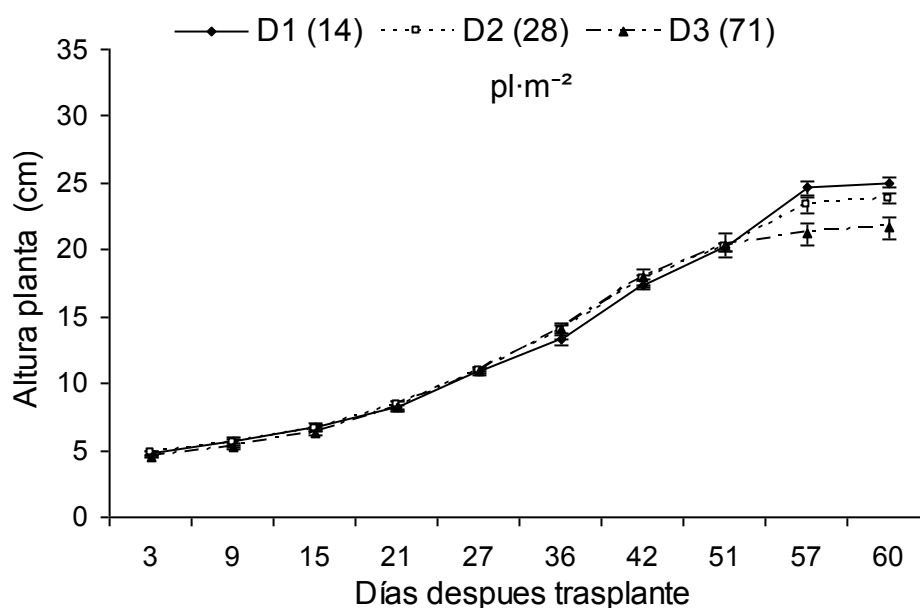
Fuente de variación	Altura planta
Densidad	0.9312
Solución	< 0.0001*
Solución x Densidad	0.0025*

*Significancia con $\alpha = 0.05$



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 4. Altura de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

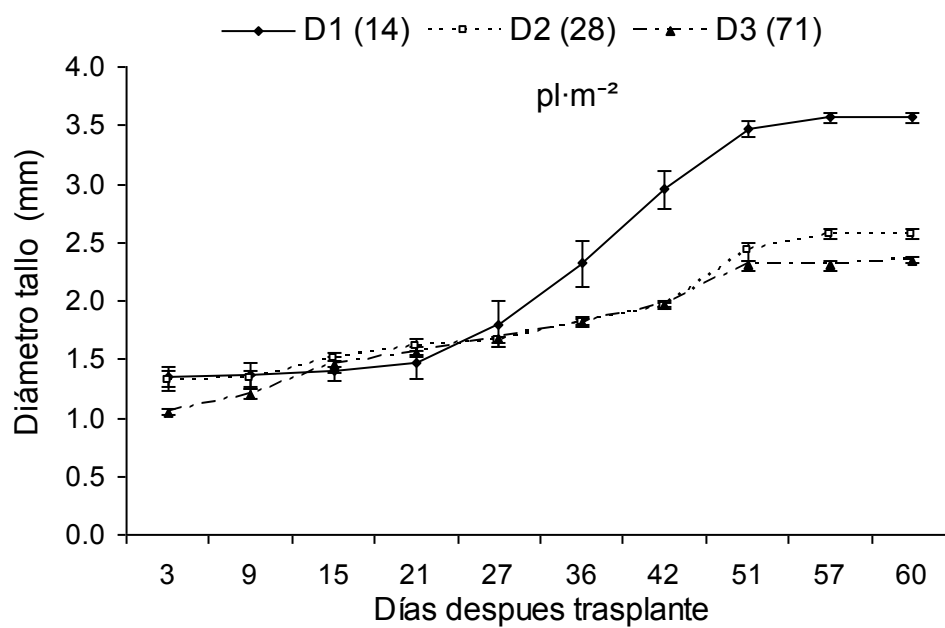
Figura 5. Altura de plantas de albahaca cultivadas en solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.

La solución nutritiva, densidad de siembra y la interacción de estos dos factores, influyeron significativamente, sobre el diámetro del tallo (Cuadro 10). Fue con la solución S1 que se presentaron los valores más altos; y a partir de los 36 DDT, la densidad D1 presentó diferencia estadística con valores más altos que los obtenidos en las otras dos densidades de siembra, alcanzando 3.57 mm a la cosecha (Figura 6 y Apéndice 2). Las plantas cultivadas con la solución S2 presentaron diámetros inferiores a las cultivadas con la solución S1 (Figura 7 y Apéndice 2), y nuevamente en la densidad D1, la plantas presentaron los valores significativamente más altos a partir de 51 DDT, alcanzando 2.37 mm a la cosecha. De acuerdo con el análisis estadístico, el tratamiento S1 D1 fue considerado el mejor para esta variable.

Cuadro 10. Valor de p del análisis de varianza para diámetro final del tallo de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

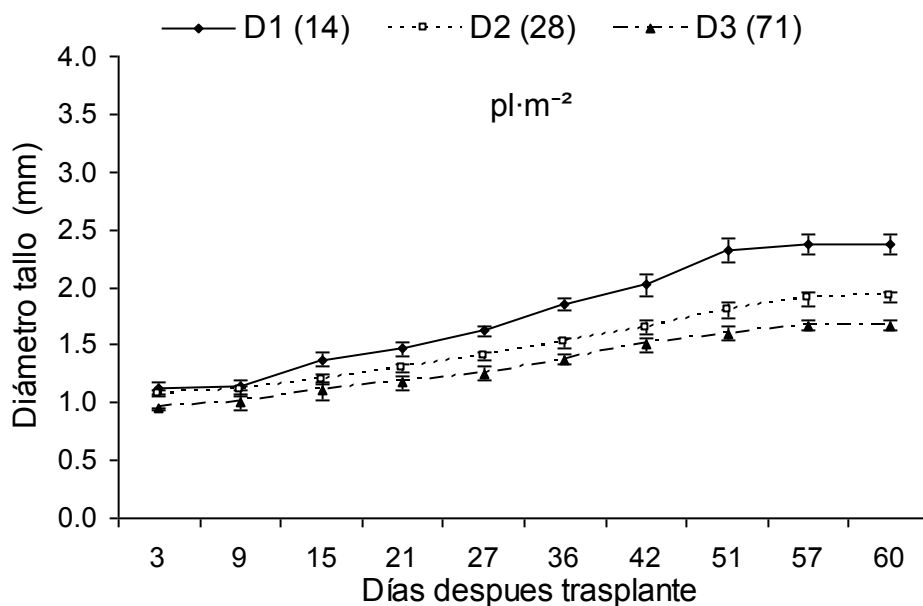
Fuente de variación	Altura planta
Densidad	< 0.0001*
Solución	< 0.0001*
Solución x Densidad	< 0.0001*

* Significancia con $\alpha = 0.05$



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 6. Diámetro de tallo de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 7. Diámetro de tallo de plantas de albahaca cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.

Al momento de la cosecha las plantas de la solución S1 presentaban un porcentaje de floración del 25, 21 y 37.5% para las densidades D1, D2 y D3 respectivamente, Con la solución S2 (50%), al momento de la cosecha las plantas tenían un 39, 25 y 33% de floración en las densidades D3, D1 y D2 respectivamente.

5.1.2 Variables a la cosecha

Esta especie se cosechó a los 60 DDT, la densidad de siembra y la solución nutritiva fueron los factores que influyeron sobre el tamaño de la hoja de las plantas regadas con la solución S1. El valor más alto fue 25.58 mm y se obtuvo en plantas de la densidad D1. No se presentó diferencia significativa (Tukey $\alpha = 0.05$) entre las densidades D2 y D3 de la misma solución. Las hojas de las plantas

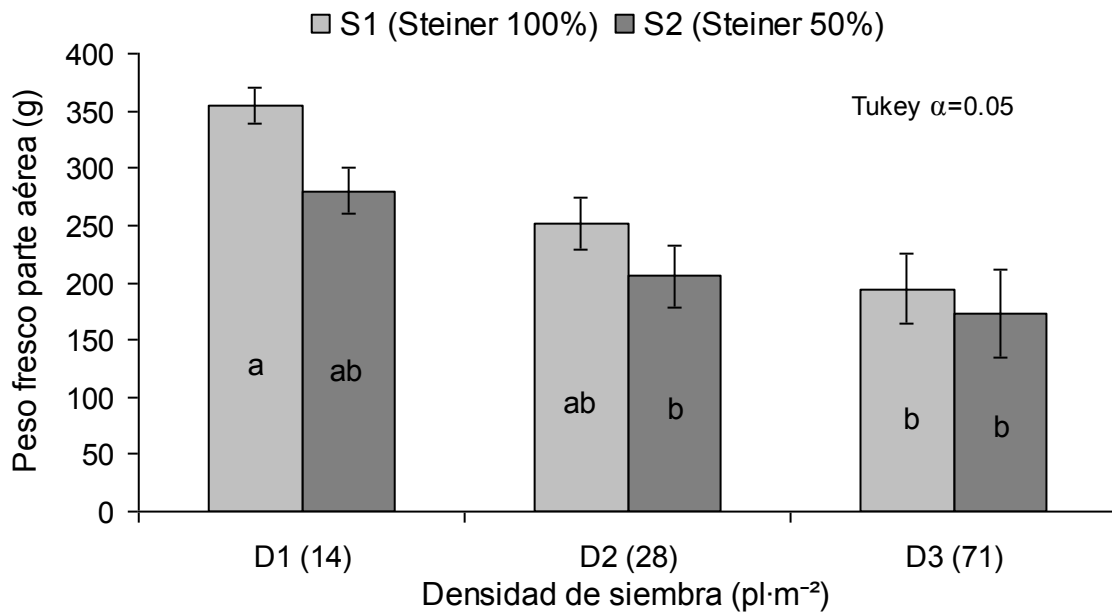
desarrolladas con la solución S2, presentaron menor tamaño que aquellas cultivadas con la solución S1, aunque las diferentes densidades de siembra no influyeron sobre esta variable, ya que no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Cuadro 11). Por lo anteriormente expuesto se observó que para esta variable la S1 D1 fue el mejor tratamiento.

Cuadro 11. Comparación de medias de la longitud de hoja de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución	Densidad pl·m ²	Longitud de hoja	EE
		cm	
Steiner 100%	14	25.58a	±1.25
	28	19.65b	±0.80
	71	19.79b	±1.32
Steiner 50%	14	16.46bc	±0.24
	28	13.53c	±0.63
	71	15.27c	±1.01

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada valor es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

En el caso del peso fresco de la parte aérea de la planta, la densidad de siembra y la solución nutritiva fueron los factores que determinaron diferencias. Se observó que con las dos soluciones nutritivas la densidad D1 produjo los mayores valores. Sin embargo, el análisis estadístico no mostró diferencias entre S1 D1 y S1 D2 y sólo S1 D3 fue significativamente diferente de S1 D1. Por otro lado, con la solución S2 no se observó significancia entre las densidades de siembra (Figura 8).



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 8. Peso fresco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con solución Steiner y tres densidades de siembra.

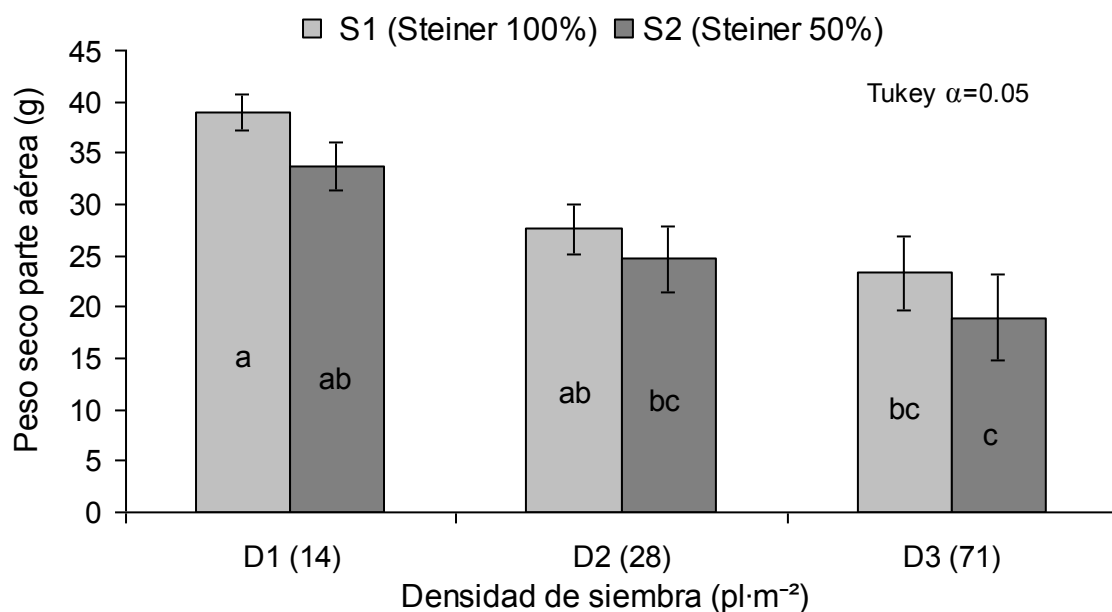
En las variables “peso seco de parte aérea” y “peso seco de raíz”, el efecto significativo ($p < 0.05$) se presentó únicamente para densidad, en la primera variable, así como para la densidad y la interacción densidad-solución para la segunda variable (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valor de p del análisis de varianza de peso seco de la parte aérea y de raíz de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Peso seco parte aérea	Peso seco raíz
Densidad	0.0003*	< 0.0001*
Solución	0.1088	0.0976
Solución x Densidad	0.9245	< 0.0001*

* Significancia con $\alpha = 0.05$

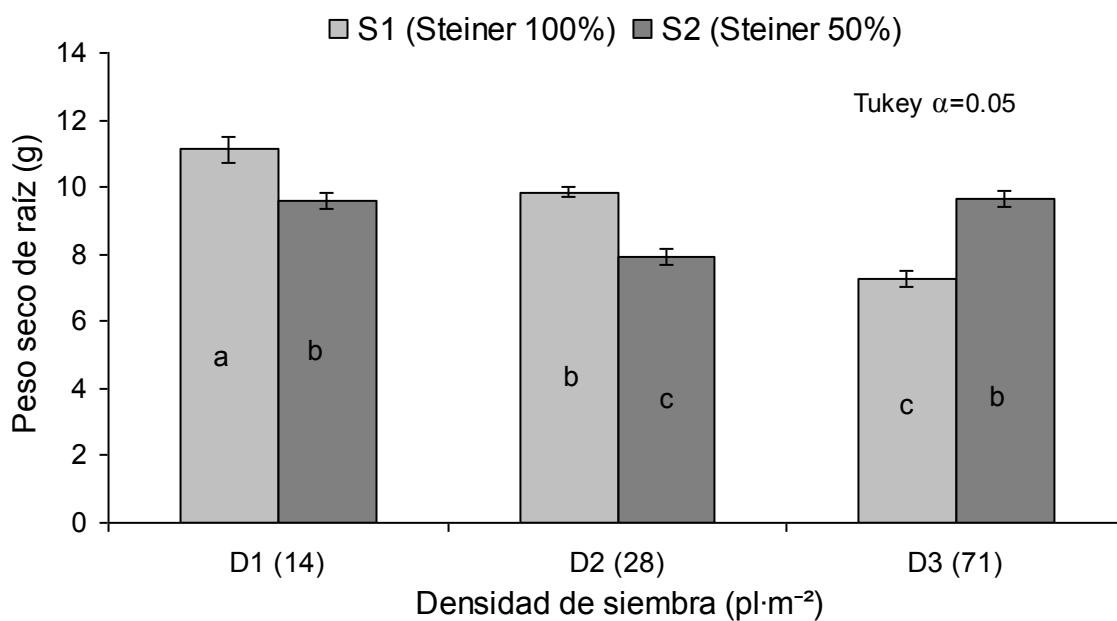
Al realizar la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), se observó que el mejor tratamiento, tanto para materia seca de la parte aérea, como de raíz fue la S1 D1, se obtuvo un promedio de 39 g y 11.12 g respectivamente; mientras que el valor más alto con la solución S2, se obtuvo también en la densidad D1, para la parte aérea (33.64 g) y D3 para la raíz (9.63 g), como se puede observar en las figuras 9 y 10.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 9. Peso seco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 10. Peso seco de raíz de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

La densidad de siembra y la solución, fueron los factores que influyeron significativamente en el número de hojas y el área foliar total, sin embargo la interacción entre densidad y solución, sólo afectó el número de hojas. El Cuadro 13 muestra ambas variables con significancia ($p < 0.05$) en todos los factores estudiados.

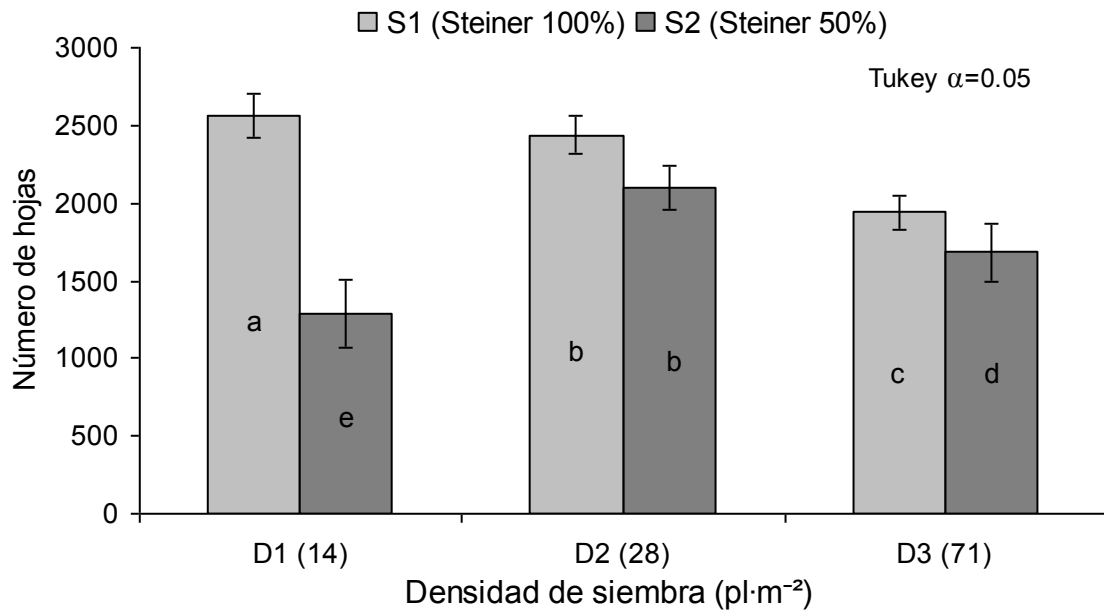
Cuadro 13. Valor de p del análisis de varianza del número de hojas y del área foliar total de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Número de hojas	Área foliar total
Densidad	< 0.0001*	< 0.0001*
Solución	< 0.0001*	< 0.0001*
Solución x Densidad	< 0.0001*	0.1456

* Significancia con $\alpha = 0.05$

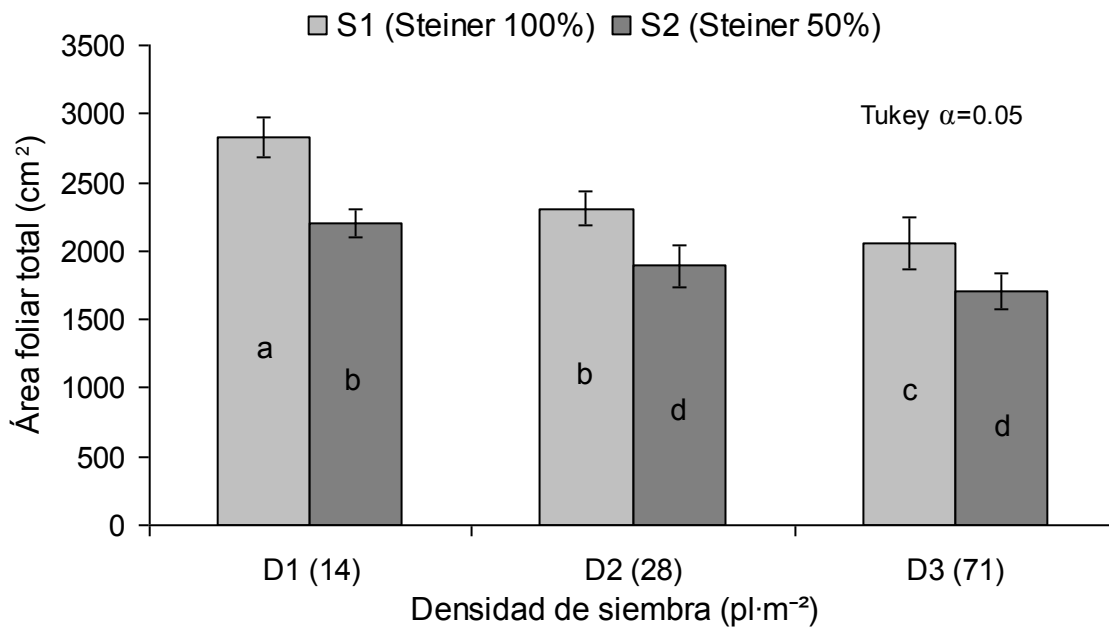
Se observó que el mayor número de hojas (2564), se presentó en el tratamiento S1 D1 y para la solución S2, el mayor valor fue obtenido en la densidad D2 (Figura 11).

En lo que respecta al área foliar, para ambas soluciones nutritivas la densidad 1 presentó los valores más altos 2828.44 y 2250 cm² respectivamente (Figura 12), con diferencia significativa (Tukey $\alpha = 0.05$) entre el resto de los tratamientos.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 11. Número de hojas de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 12. Área foliar total de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

5.1.3 Aceites esenciales

Los resultados revelados en las placas de sílica gel, mostraron similitud, en número de manchas, con valores similares de retención (Rf), para todas las densidades y soluciones (Figura 13).

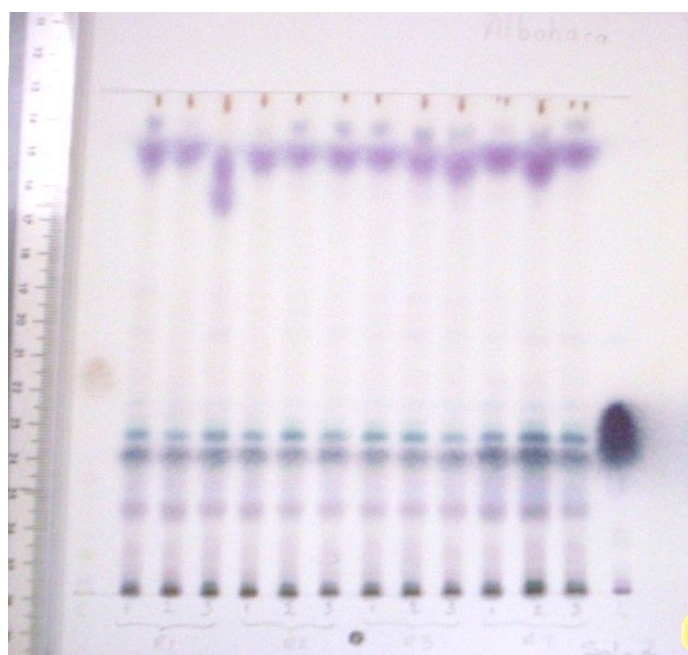


Figura 13. Placa cromatográfica de sílica gel, del aceite esencial de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, revelada con vainillina-ácido sulfúrico.

Al revelar los cromatogramas de las muestras de aceite esencial, se observó bajo la luz ultravioleta la presencia de 3 componentes diferentes, que fueron corroborados con la aplicación del reactivo cromogénico (vainillina-ác. Sulfúrico), que resaltó 4 constituyentes en total, en el Cuadro 14 se presentan los tiempos de retención (Rf) obtenidos para cada mancha y de los estándares.

En estas pruebas se destaca la presencia de una mancha de color verde oscuro, que se presume como la más abundante y coincide con el estándar linalol; en esta prueba, no se presentó ninguna mancha con similitud al estándar eugenol.

Cuadro 14. Rf's (tiempos de retención) de los componentes del aceite esencial de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, presentes en la placa cromatográfica.

Manchas y Estándares	Color (Revelado con vainillina-ác. sulfúrico, luz visible)	Rf
1	Violeta claro	0.08
2	Violeta	0.16
3	Verde oscuro	0.30
4	Violeta oscuro	0.86
Linalol	Verde oscuro	0.30
Eugenol	Naranja	0.50

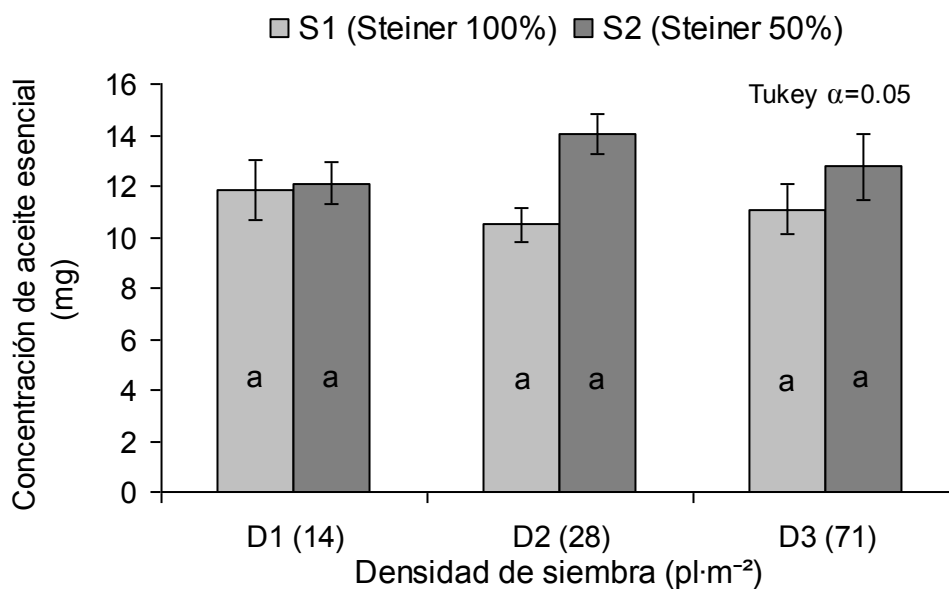
La concentración de aceite esencial en esta especie, no fue influenciada por la densidad de siembra, ni la interacción entre densidad y solución. El factor que tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) es la solución, como se muestra en el Cuadro 15.

Se observó que la mayor concentración de aceite esencial (14.02 mg), se obtuvo en plantas cultivadas en la S2 D2, sin embargo la comparación de medias no arrojó diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), entre los tratamientos evaluados, como se puede observar en la Figura 14.

Cuadro 15. Valor de p del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial, en 1 g de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Concentración de aceite esencial
Densidad	0.9362
Solución	0.0361*
Solución x Densidad	0.2708

* Significancia con $\alpha = 0.05$



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 14. Concentración de aceite esencial en plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

La muestra analizada en el cromatógrafo de gases, arrojó un cromatograma (Figura 15) con un total de 6 picos, correspondientes a componentes de este aceite esencial. El pico ubicado a los 12.89 min de retención se observó como un componente abundante, que corresponde a linalol (Figura 16), los componentes

mayoritarios de la muestra se presentan en el Cuadro 16, el resto de los picos presentes en el cromatograma corresponden a hexano, utilizado para diluir la muestra.

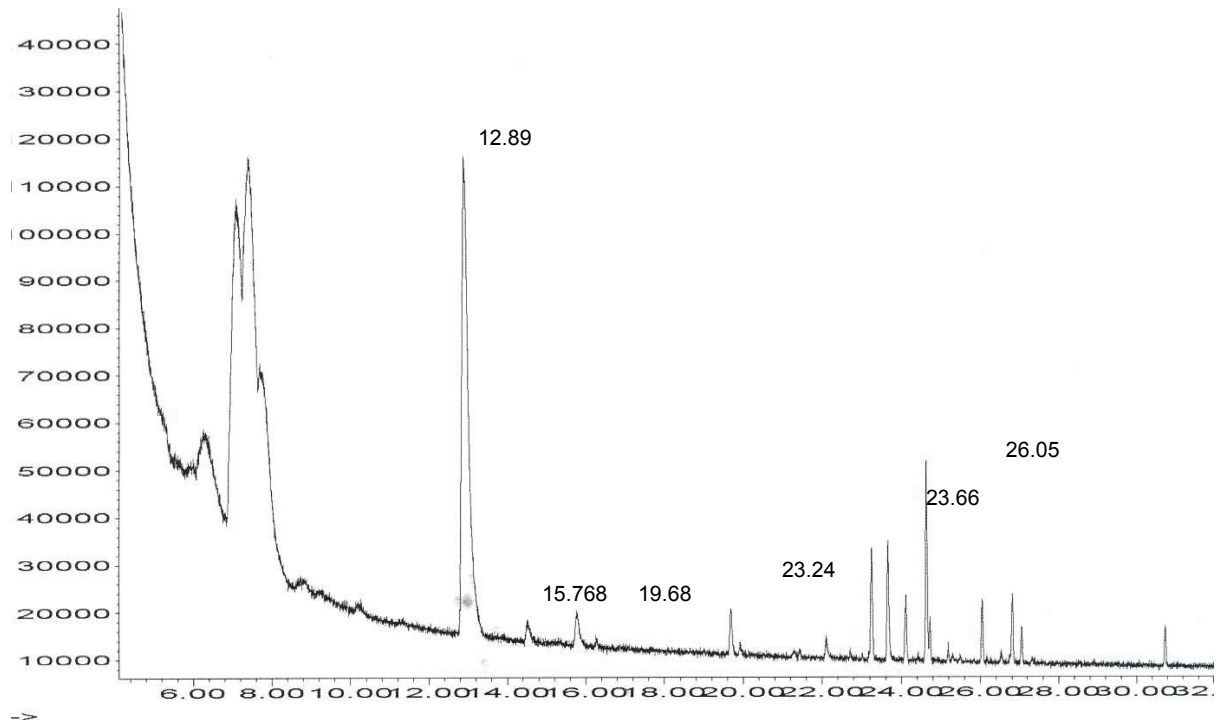


Figura 15. Cromatograma del aceite esencial de hojas de albahaca cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

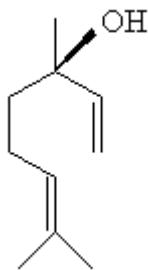


Figura 16. Estructura de linalol

Cuadro 16. Compuestos mayoritarios en el aceite esencial de hojas de albahaca cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Compuesto	Tiempo retención (minutos)	Área %
Linalol	12.889	32.633
Terpin-4-ol	15.768	0.850
Borneol	19.685	1.148
Cyclohexan-1-etenil-1-metil-2,4-bis(1-metilen)	23.246	1.377
Metil eugenol	23.660	1.527
1,6-ciclododecadieno, 1-metil-5-metilen-8-(1-metil)	26.044	0.630

5.2 Orégano

5.2.1 Variables de crecimiento

En esta especie no se presentaron diferencias entre los promedios de altura de planta obtenidos en las diferentes densidades en cada una de las soluciones nutritivas. En todos los casos, el patrón de crecimiento de la planta fue similar aunque fue con la solución S2, que se obtuvieron los valores más altos de altura de la planta (Apéndice 3). En el Cuadro 17, se puede observar que el factor solución fue el que afectó esta variable ($p < 0.05$).

Cuadro 17. Valor de p del análisis de varianza de altura de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Altura planta
Densidad	0.9392
Solución	0.0466*
Solución x Densidad	0.8149

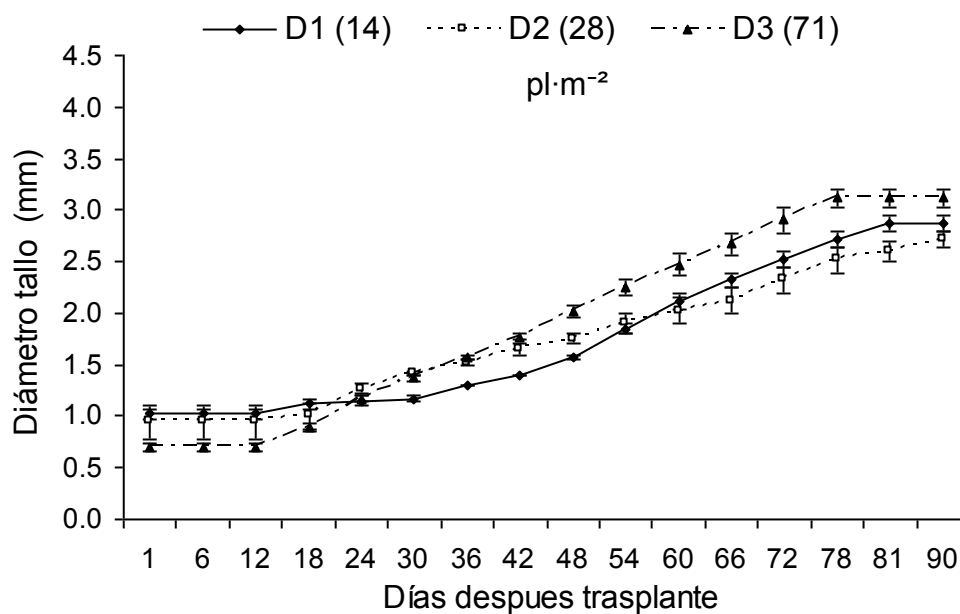
* Significancia con $\alpha = 0.05$

El diámetro del tallo se vio afectado por los tres factores estudiados (Cuadro 18). Las plantas regadas con la solución S2 presentaron valores significativamente más altos que los obtenidos con los otros tratamientos (Figura 18, Apéndice 4). Las plantas regadas con la solución S1 además de tener menor diámetro de tallo, no presentaron significancia entre las tres densidades (Figura 17, Apéndice 4). El mayor diámetro de tallo se obtuvo con el tratamiento S2 D1.

Cuadro 18. Valor de p del análisis de varianza para diámetro final del tallo de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

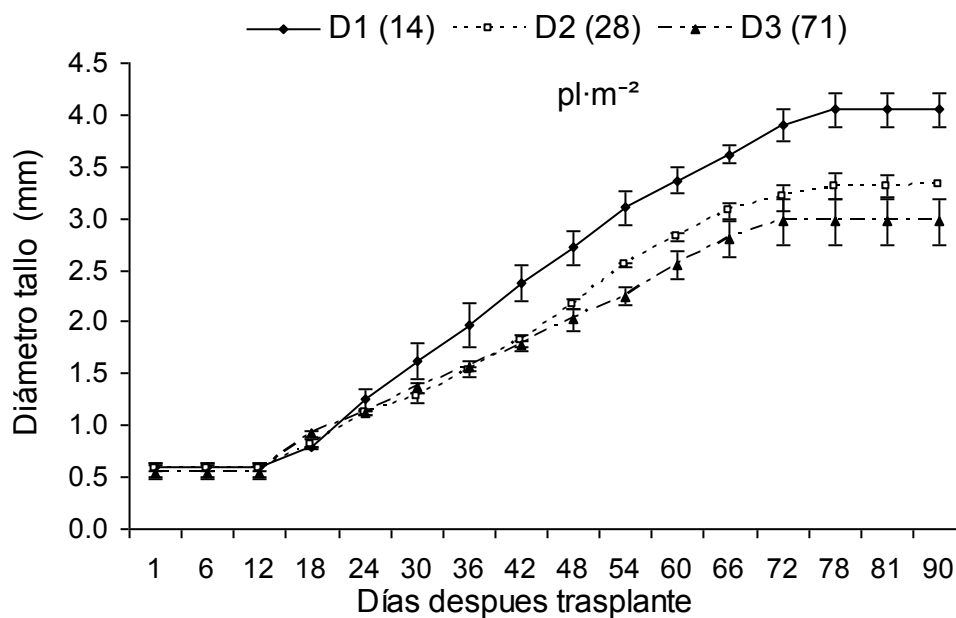
Fuente de variación	Altura planta
Densidad	0.0069*
Solución	0.0001*
Solución x Densidad	0.0005*

* Significancia con $\alpha = 0.05$



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 17. Diámetro del tallo de plantas de orégano cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.



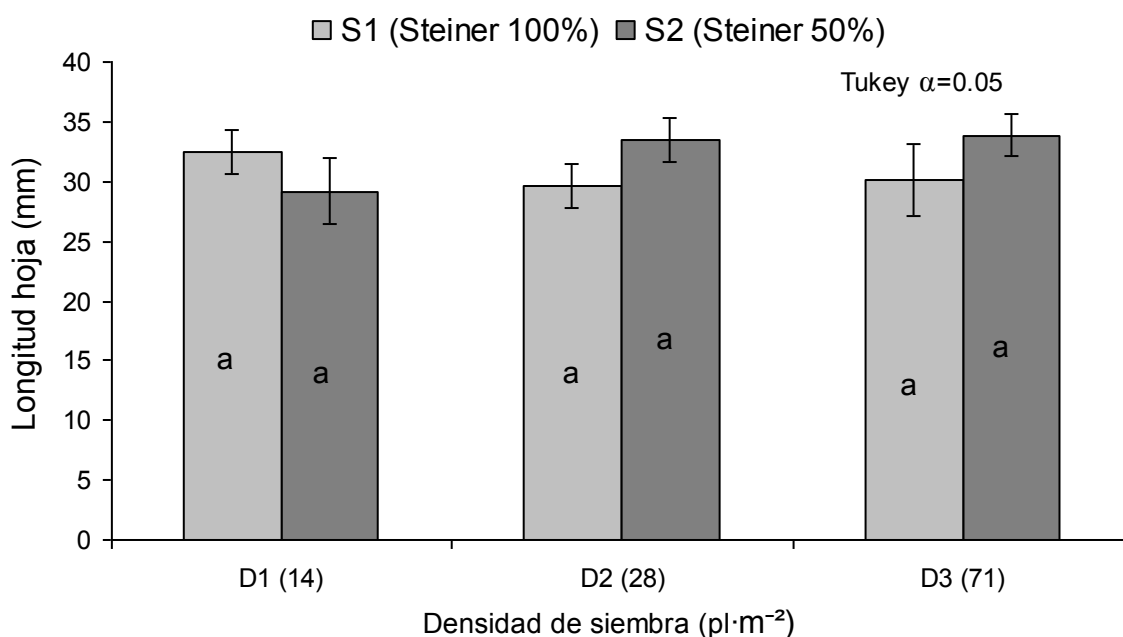
Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 18. Diámetro del tallo de plantas de orégano cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.

Al momento de la cosecha únicamente 2 plantas de la D2 (4%) y 3 de la D3 (6.2%), regadas con la S1, iniciaban la floración.

5.2.2 Variables a la cosecha

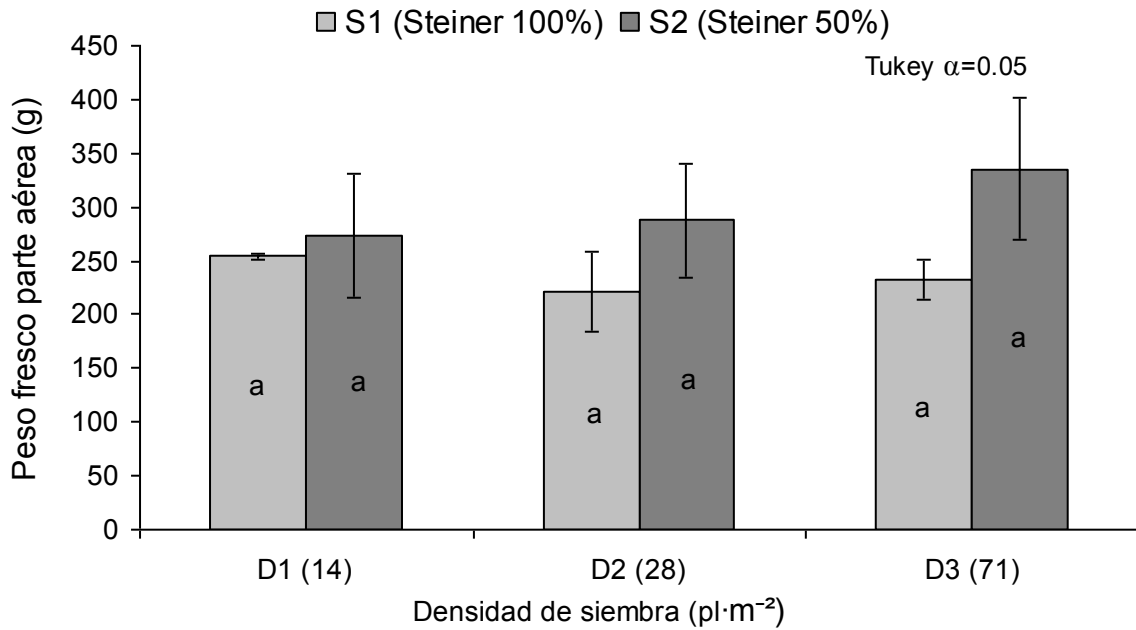
Las plantas fueron cosechadas a los 90 días después del trasplante, los valores obtenidos para la longitud de hoja y peso fresco y seco de la parte aérea, no presentaron significancia en ninguno de los tratamientos (Figuras 19, 20 y 21), y no se vio afectada por ninguno de los factores estudiados (densidad, solución, interacción densidad-solución). Los valores promedio obtenidos oscilaron entre 28 y 33 mm.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

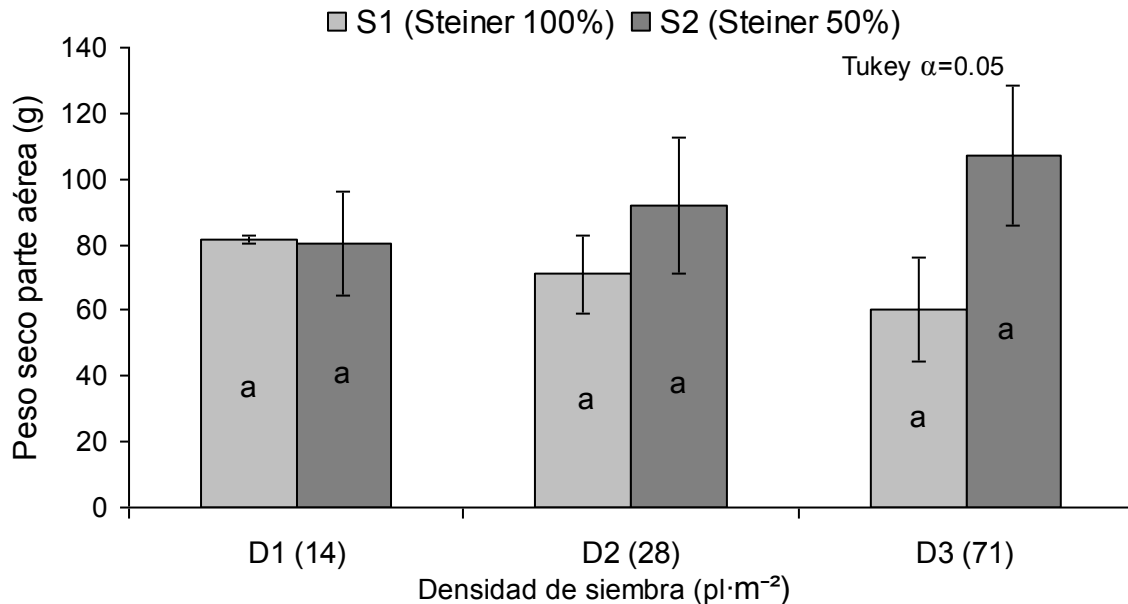
Figura 19. Longitud de la hoja de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones ± error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 20. Peso fresco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones ± error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

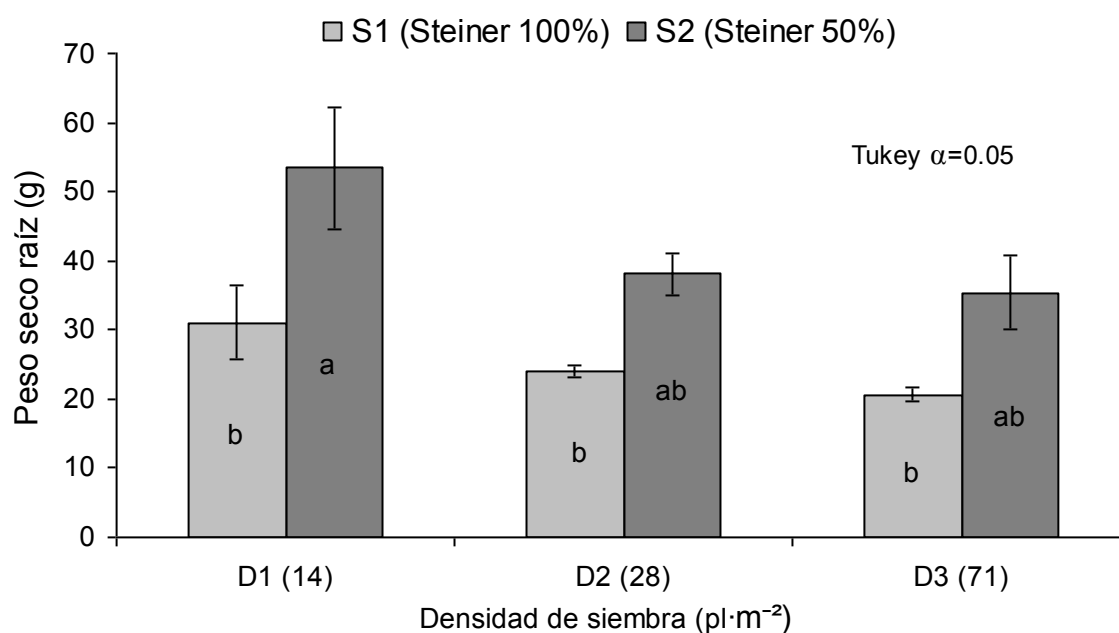
Figura 21. Peso seco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

El peso seco de la raíz, fue afectado significativamente ($p < 0.05$) por la densidad de siembra y la solución nutritiva (Cuadro 19). El valor más alto se obtuvo con el tratamiento S2 D2 (53.44 g), con diferencia significativa (Tukey $\alpha = 0.05$) y los valores más bajos se obtuvieron con la solución al 100% (20.54 g) (Figura 22).

Cuadro 19. Valor de p del análisis de varianza de peso seco de parte aérea y de raíz de orégano, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Peso seco de parte aérea	Peso seco de raíz
Densidad	0.9835	0.0233*
Solución	0.1038	0.0005*
Solución x Densidad	0.3392	0.6487

*Significancia con $\alpha = 0.05$



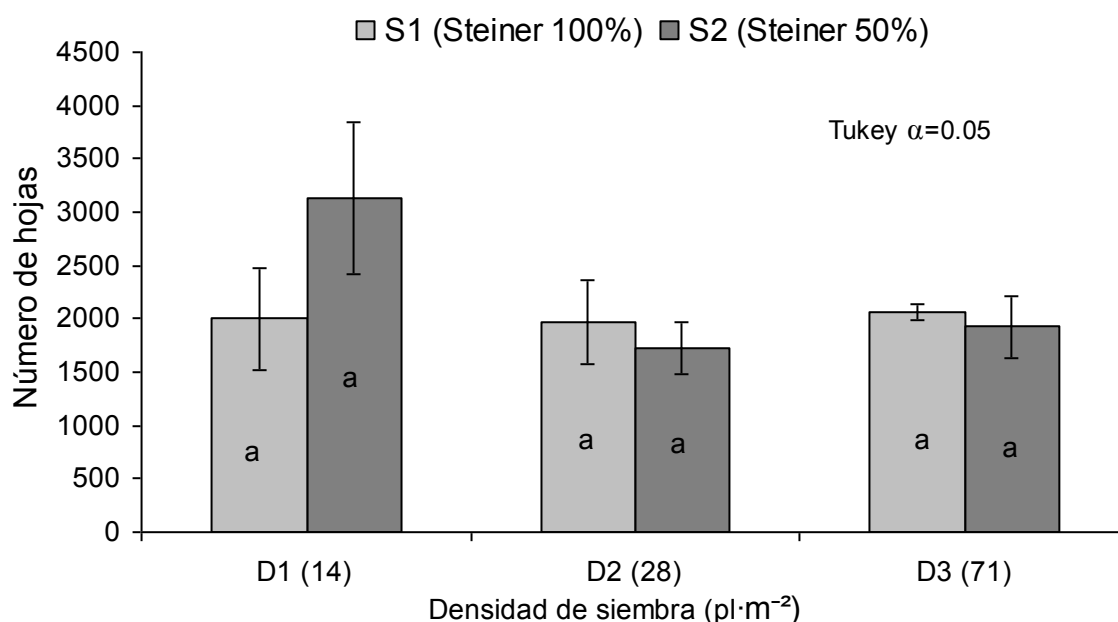
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 22. Peso seco de raíz de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

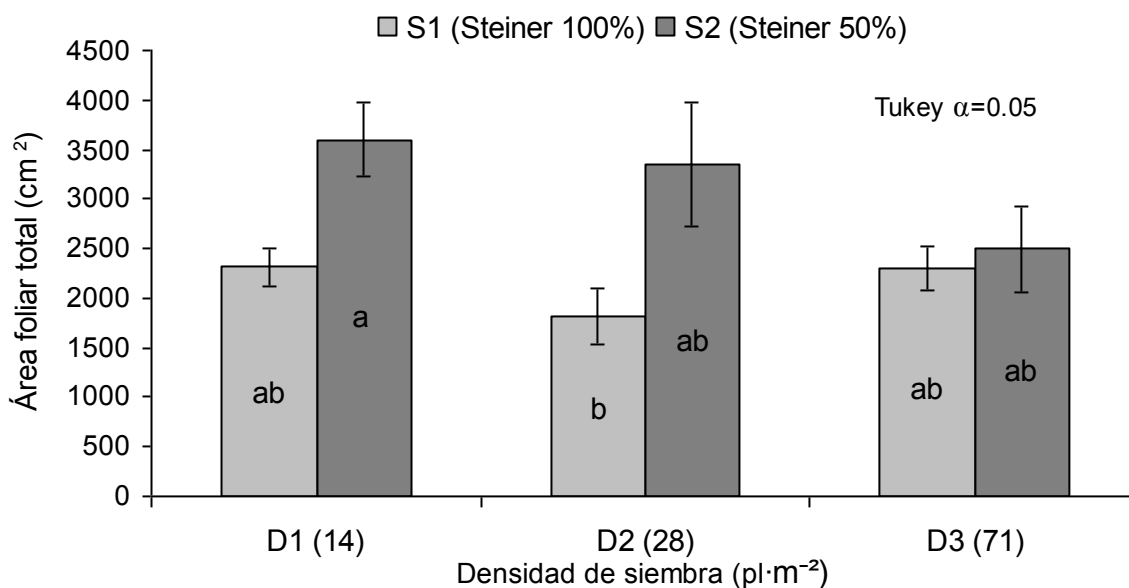
No se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) de los tres factores estudiados sobre el número de hojas; solo se observó efecto de la solución sobre el área foliar total. Al realizar la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), no se observó diferencia significativa en el número de hojas, para ningún tratamiento, aunque el mayor número de hojas (3134) se reportó para las plantas de la S2 D1 (Figura 23).

La mayor área foliar se obtuvo con el tratamiento S2 D1, siendo estadísticamente diferente (Tukey $\alpha = 0.05$) al resto de los tratamientos, con un valor promedio de 3600.38 cm^2 ; y aunque la densidad D2, de la misma solución, también presentó un valor elevado, no fue considerado con significancia estadística (Figura 24). Por otro lado, las plantas cultivadas en la solución S1 presentaron valores inferiores de área foliar, que las cultivadas en la solución S2.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 23. Número de hojas de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 24. Área foliar total de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

5.2.3 Aceites esenciales

Al revelar las placas de sílica gel, se observó similitud en cuanto al número de manchas, la coloración y el valor de R_f, entre las tres densidades y las dos soluciones (Figura 25). Se observó bajo luz ultravioleta la presencia de 3 componentes diferentes, que se hicieron evidentes, aunque de coloración ligera, a la aplicación del agente cromogénico (vainillina-ácido sulfúrico).

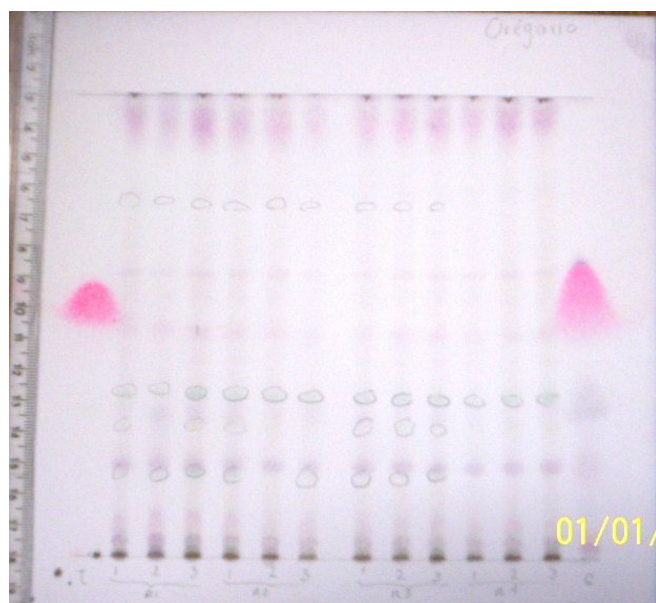


Figura 25. Placa cromatográfica de sílica gel, del aceite esencial de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, revelada con vainillina-ácido sulfúrico.

Los tiempos de retención obtenidos (Rf) para cada mancha y los estándares se presentan en el Cuadro 20, aunque no se presentó similitud con ninguno de los estándares utilizados (timol y carvacrol), que han sido reportados, en la literatura, como componentes mayoritarios para esta especie.

Cuadro 20. Rf's (Tiempos de retención) de componentes del aceite esencial de orégano, cultivado con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, presentes en placa cromatográfica.

Manchas y Estándares	Color (Revelado con vainillina-ác. sulfúrico, luz visible)	Rf
1	Violeta claro	0.03
2	Verde	0.23
3	Violeta oscuro	0.93
Carvacrol	Rosa fuerte	0.70
Linalol	Rosa fuerte	0.66

Los valores obtenidos en los análisis estadísticos, muestran que la concentración de aceite esencial de orégano, no se ve afectada significativamente ($p < 0.05$) por la densidad de siembra, ni en la interacción entre densidad y solución, solo se presenta significancia estadística para solución (Cuadro 21).

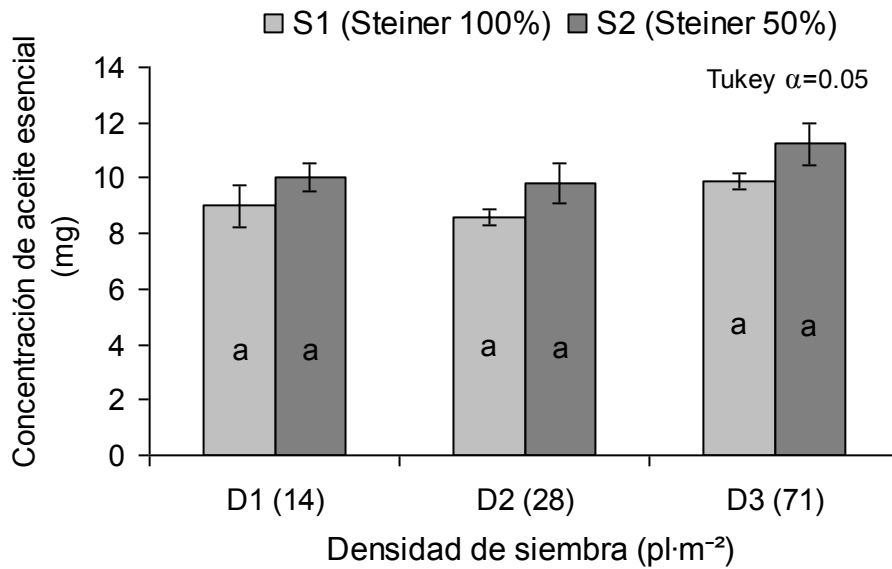
Cuadro 21. Valor de p del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial, en 1 g de muestra de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Concentración de aceite esencial
Densidad	0.8250
Solución	0.0238*
Solución x Densidad	0.9660

* Significancia con $\alpha = 0.05$

La concentración de aceites esenciales presentaron los valores más altos en la S2 D3 (11.22 mg) y el valor más bajo se presentó en la S1 D2 (8.57 mg), sin embargo la comparación de medias no arrojó diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05\%$), entre los tratamientos evaluados, como se muestra en la Figura 26.

En los análisis por cromatografía de gases, se puede observar en el cromatograma, la presencia de un solo pico correspondiente a timol como único componente de este aceite (Figuras 27), a los 19.89 minutos de retención, y con un área de 4.868 %; los picos restantes presentes en el cromatograma, corresponden a rastros de hexano, que fue utilizado para diluir la muestra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 26. Concentración de aceite esencial en plantas de orégano, en 1 g de muestra seca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

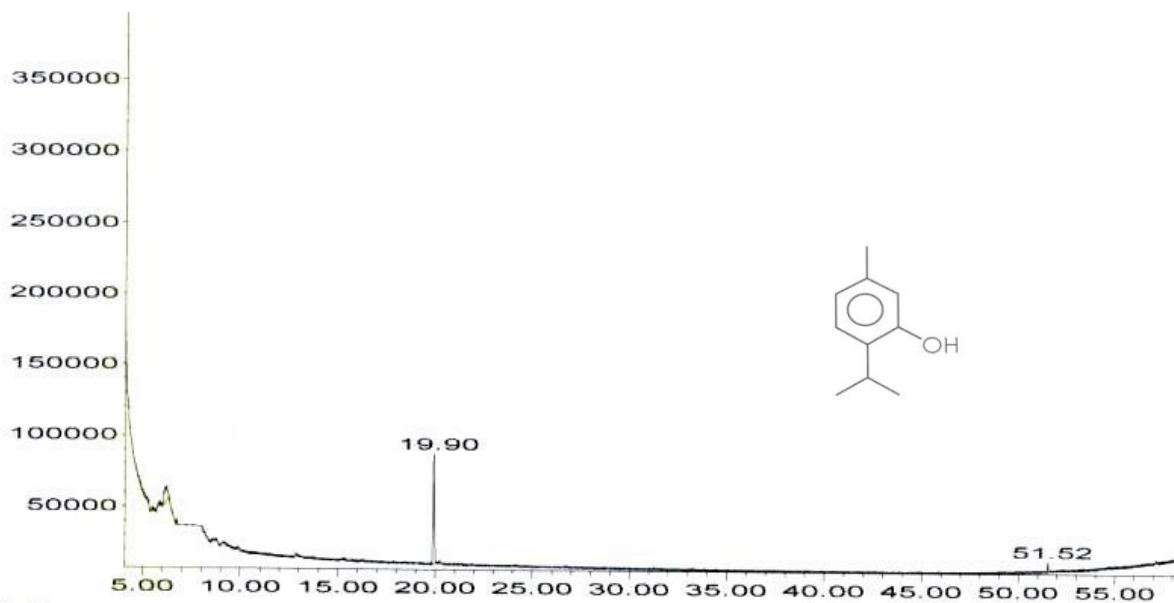


Figura 27. Cromatograma del aceite esencial de orégano, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

5.3 Tomillo

5.3.1 Variables de crecimiento

Tomillo es una especie, cuyo crecimiento de la planta se vio influenciado únicamente por la interacción entre densidad de siembra y la solución nutritiva (Cuadro 22). Durante el desarrollo no se presentaron diferencias entre los promedios de altura de planta obtenidos en las diferentes densidades en cada una de las soluciones nutritivas, fue hasta los 81 DDT que se observó únicamente diferencia estadística entre las densidades D1 y D2 de la solución Steiner al 100%, no se presentó entre el resto de los tratamientos (Apéndice 5). Al realizar la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), para altura final de la planta, el promedio más alto fue de 37.50 cm, que se presentó en la S1 D2.

Cuadro 22. Valor de p del análisis de varianza para altura final de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Largo planta
Densidad	0.0883
Solución	0.1003
Solución x Densidad	0.0027*

* Significancia con $\alpha = 0.05$

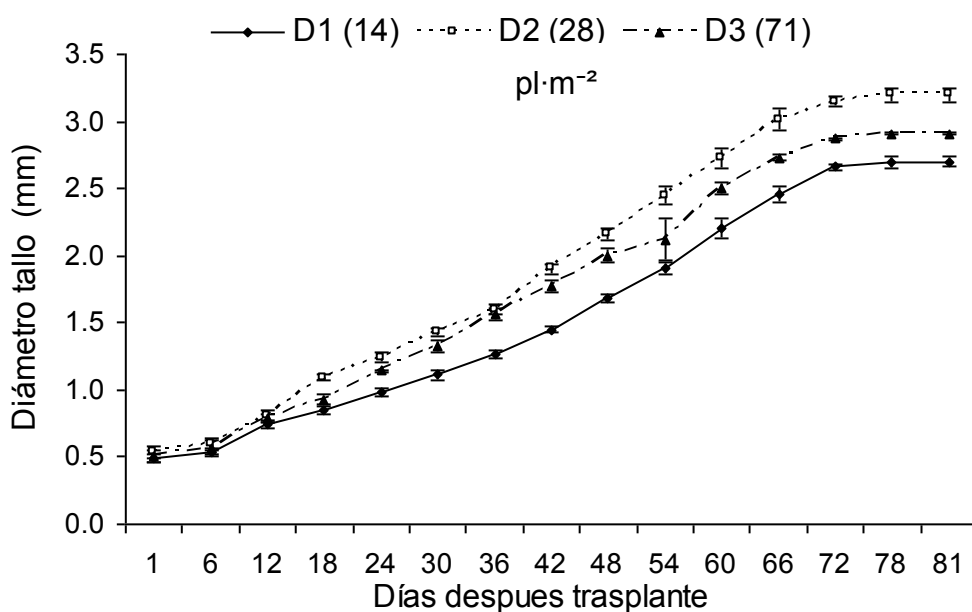
El diámetro del tallo se vio afectado por la solución y la interacción de esta con la densidad de siembra (Cuadro 23). Fue a partir de los 36 DDT, que las plantas cultivadas con la S1 D2 y D3 presentaron los valores más altos del diámetro del tallo (3.20 y 2.91 mm, respectivamente), con diferencia estadística al resto de los tratamientos; esta tendencia se presentó hasta el final de la cosecha (81 DDT)

alcanzando 3.20 y 2.91 mm, respectivamente (Apéndice 6 y Figura 28). Por otro lado cuando se utilizó la solución S2 las plantas presentaron valores más bajos en esta variable, sin diferencias estadísticas entre los tratamientos (Apéndice 6 y Figura 29).

Cuadro 23. Valor de p del análisis de varianza para diámetro final del tallo de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

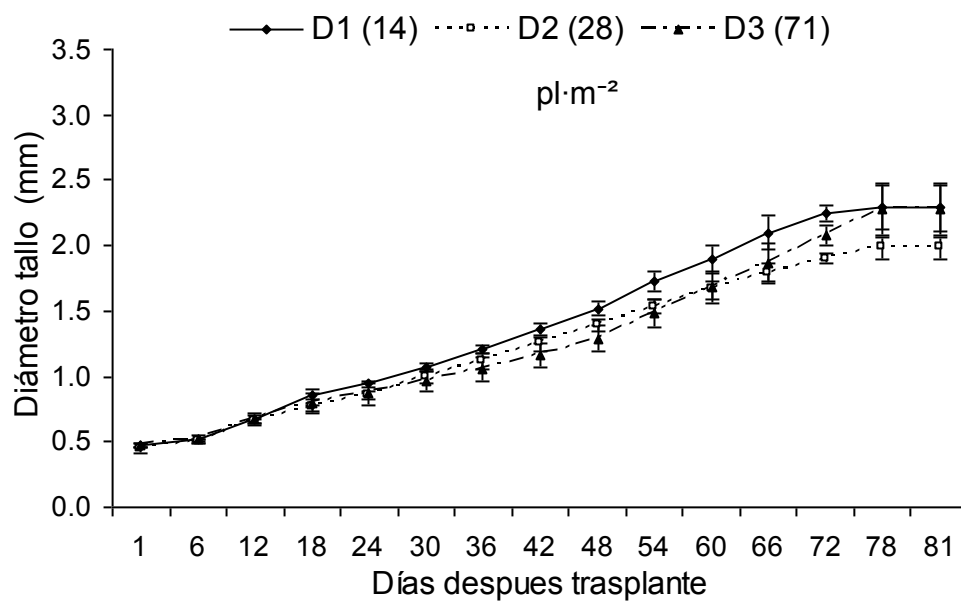
Fuente de variación	Diámetro tallo
Densidad	0.6278
Solución	< 0.0001*
Solución x Densidad	0.0074*

* Significancia con $\alpha = 0.05$



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 28. Diámetro del tallo de plantas de tomillo cultivadas en la solución Steiner al 100% y tres densidades de siembra.



Cada punto es el promedio de 3 repeticiones \pm error estándar

Figura 29. Diámetro del tallo de plantas de tomillo cultivadas en la solución Steiner al 50% y tres densidades de siembra.

La floración se presentó en primer lugar en la solución S2, a los 60 días para las densidades D3 y D2 (12.5 y 18.7% respectivamente) y a los 70 días después del trasplante para la densidad D1 (16.2%). Con la solución S1, la floración se presentó a los 70 días para las densidades D2 y D3, con 16.6 y 18.7%, respectivamente.

5.3.2 Variables de cosecha

Esta especie se cosecha a los 80 días después del trasplante; la densidad, solución y la interacción de estos dos factores afectaron significativamente ($p < 0.05$) todas las variables de cosecha: peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de raíz, longitud de hoja, número de hojas y área foliar total, como se puede observar en los Cuadros 24 y 25.

Cuadro 24. Valor de p del análisis de varianza de la longitud de hoja, número de hojas y área foliar total de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Longitud hoja	Número hojas	Área foliar total
Densidad	0.0129*	< 0.0001*	< 0.0001*
Solución	0.0008*	0.0015*	< 0.0001*
Solución x Densidad	0.0455*	< 0.0001*	< 0.0001*

* Significancia con $\alpha = 0.05$

Cuadro 25. Valor de p del análisis de varianza del peso fresco y seco de la parte aérea y peso seco de raíz de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Fuente de variación	Peso fresco parte		Peso seco parte
	aérea	aérea	Peso seco de raíz
Densidad	0.0546	0.0005*	0.0237*
Solución	0.0143*	0.0010*	0.0008*
Solución x Densidad	0.0071*	< 0.0001*	< 0.0001*

* Significancia con $\alpha = 0.05$

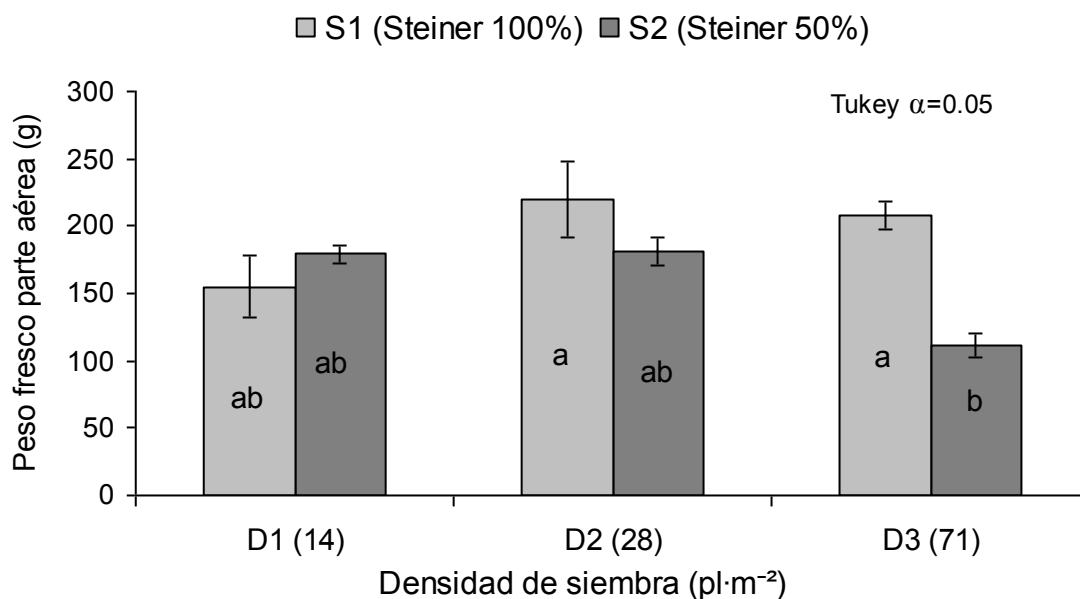
Al realizar la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) para la variable longitud de la hoja, se obtuvo el valor más alto en plantas cultivadas con el tratamiento S1 D2, con un promedio de 8.96 mm. Por otro lado en la solución S2, se presentaron valores más bajos comparadas con la solución S1, alcanzando 7.34 mm la D1 (Cuadro 26).

Cuadro 26. Comparación de medias de la longitud de hoja de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Longitud hoja cm	EE
100%	14	7.47bc	±0.20
	28	8.96a	±0.34
	71	8.47ab	±0.21
50%	14	7.34bc	±0.35
	28	7.80abc	±0.41
	71	6.67c	±0.30

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

En lo que respecta al peso fresco de la parte aérea, fue con los tratamientos S1 D2 y D3, que se obtuvieron los valores más altos (219.68 y 207.7 g, respectivamente), resultando estadísticamente iguales en la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$) considerándose como los mejores tratamientos para esta variable. Por otro lado, se encontró similitud estadística entre las plantas crecidas en la S1 D1 y S2 D1 y D2, siendo estos últimos los mejores tratamientos de la solución S2, ya que alcanzaron valores de 179.49 y 181.38 g, respectivamente (Figura 30).

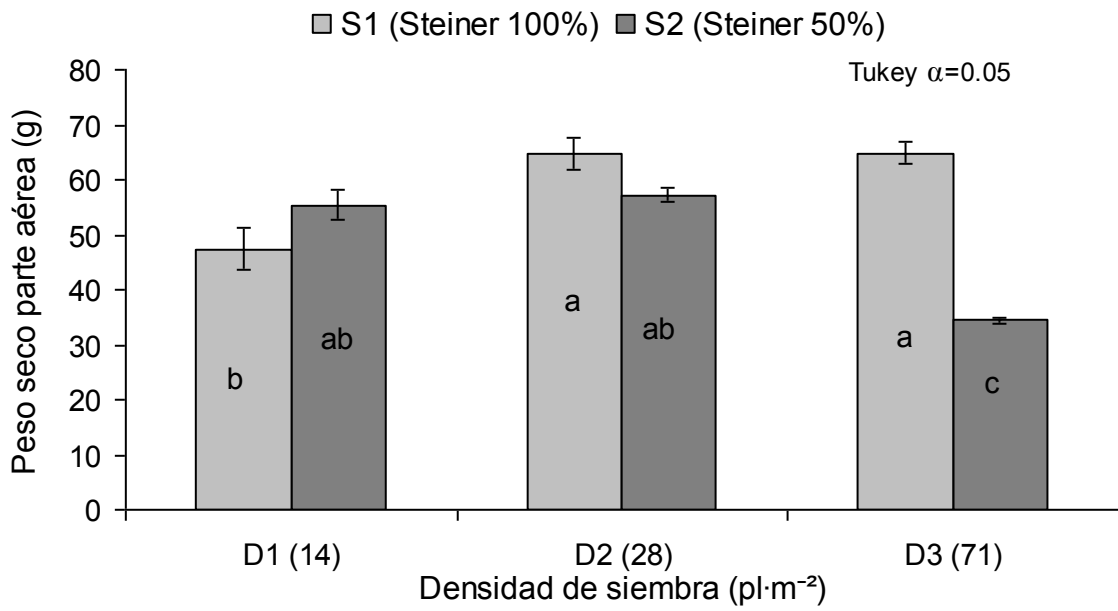


Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

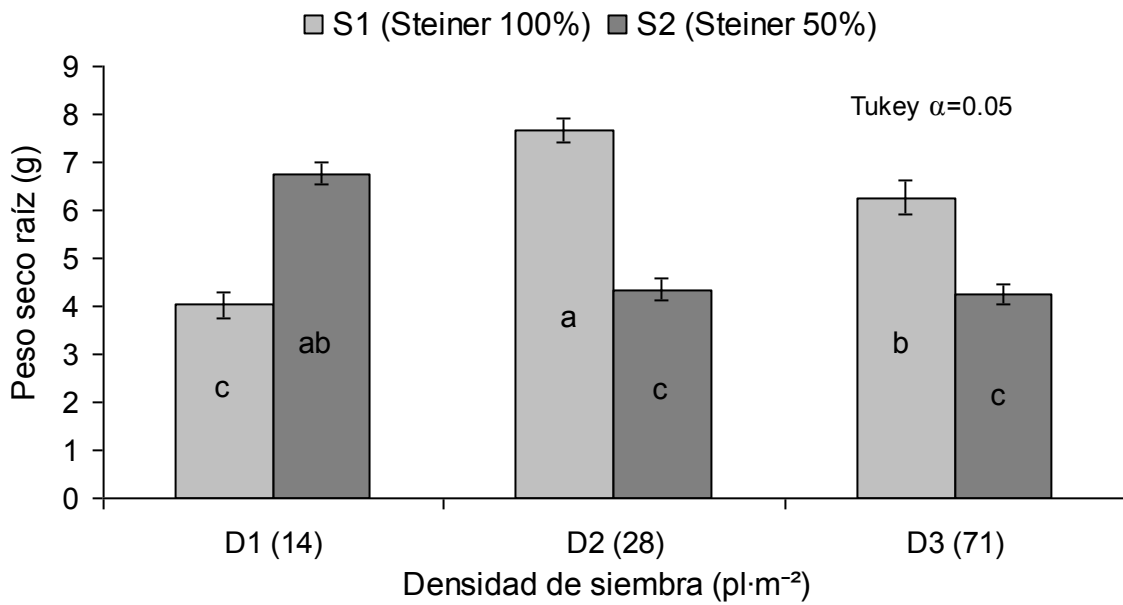
Figura 30. Peso fresco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

En el peso seco de la parte aérea los valores más altos (64.61 y 64.87 g) corresponden a los tratamientos S1 D2 y D3. Aunque la solución S2, presentó valores más bajos comparados con la solución S1, la densidad D2 alcanzó 57.18 g de peso seco de la parte aérea (Figura 31). El peso seco de raíz obtuvo su valor más alto (7.67 g) con S1 D2; se presentó similitud estadística entre los tratamientos S1 D1 y S2 D2 y D3, cuyos valores fueron los más bajos, alcanzando un máximo de 4.35 g de peso (Figura 32).



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

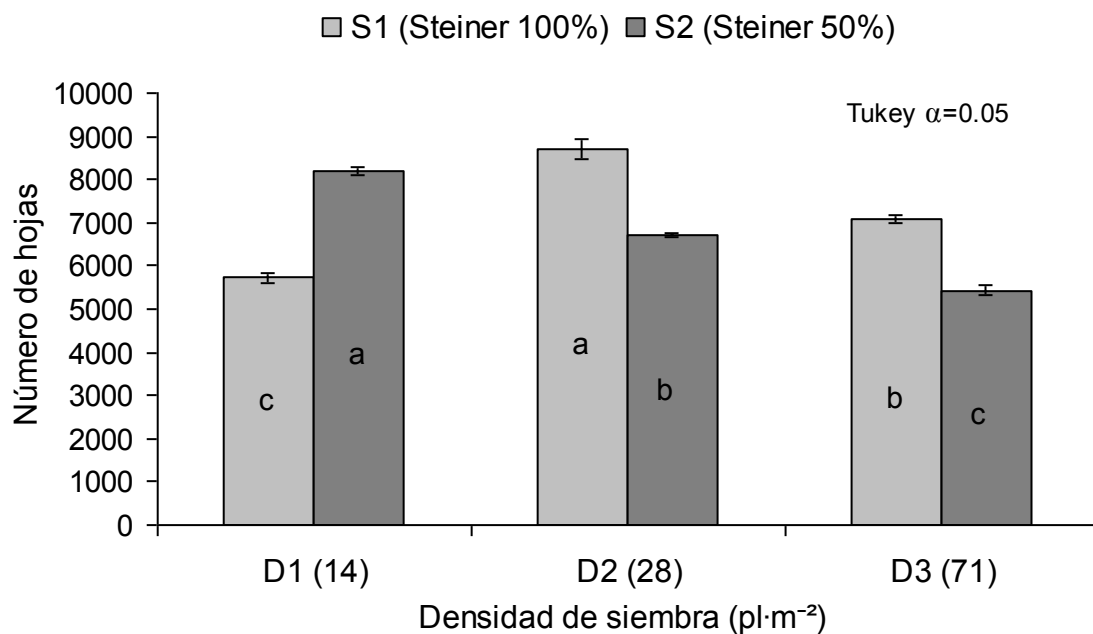
Figura 31. Peso seco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

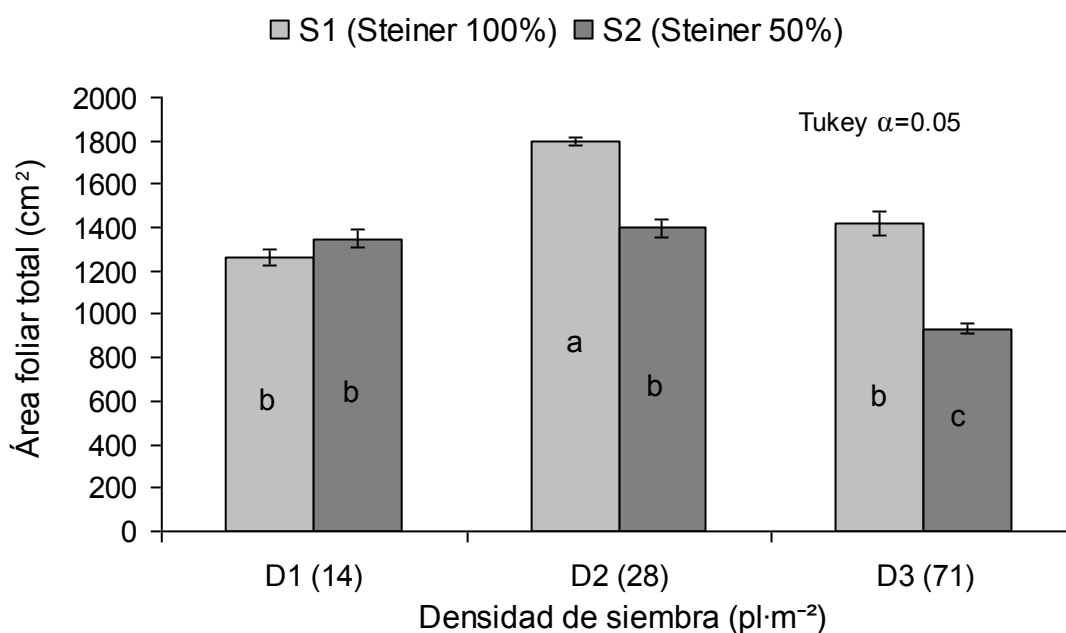
Figura 32. Peso seco de la raíz de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Se presentó un mayor número de hojas en el S1 D2 y S2 D1, con un promedio de 8711 y 8192 hojas respectivamente, ambos tratamientos fueron estadísticamente iguales (Figura 33). El área foliar total presentó una tendencia similar al número total de hojas, ya que al realizar la comparación de medias (Tukey $\alpha = 0.05$), el valor más alto se obtuvo con S1 D2 (1801.35 cm²) y fue significativamente diferente al resto de los tratamientos. Cabe destacar que los tratamientos S1 D1 y S2 D3 no presentaron diferencias estadísticas. El mejor tratamiento de la solución al 50% fue S2 D1 (Figura 34).



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 33. Número de hojas de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 34. Área foliar total de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

5.3.3 Aceites esenciales

Al realizar el análisis de aceite esencial, por cromatografía de capa fina, no se observó similitud en el número de manchas, su coloración y el valor de Rf, entre las tres densidades de siembra y las dos soluciones nutritivas (Figura 35). Se observó bajo luz ultravioleta la presencia de 3 componentes diferentes, que se acentuaron a la aplicación del agente cromogénico (vainillina-ácido sulfúrico).

En estas pruebas se destaca la presencia de una mancha de color fucsia, que se pudo observar como la más abundante y coincide con el estándar timol, que fue corroborado al aislar la mancha y correrla junto al estándar timol. En el Cuadro 27

se observan los tiempos de retención, para cada mancha observada, así como de los estándares, resaltando la mancha color fucsia, que es similar al timol.

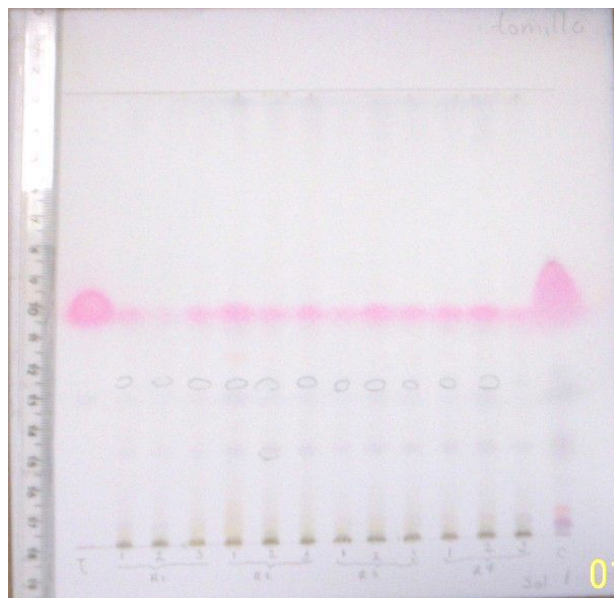


Figura 35. Placa cromatográfica de sílica gel, del aceite esencial de tomillo cultivado con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, revelada con vainillina-ácido sulfúrico.

Cuadro 27. Rf's (tiempos de retención) de componentes del aceite esencial de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, presentes en la placa cromatográfica.

Manchas y Estándares	Color (Revelado con vainillina-ác. sulfúrico, luz visible)	Rf
1	Violeta	0.15
2	Verde	0.27
3	Fucsia	0.50
Carvacrol	Fucsia	0.50
Linalol	Fucsia	0.50

Los valores obtenidos en los análisis estadísticos, muestran que en la concentración de aceite esencial de tomillo, no se presentó efecto significativo ($p < 0.05$) de la densidad de siembra, ni en la interacción entre densidad de siembra y solución; solo hubo significancia para la solución aplicada (Cuadro 28).

Cuadro 28. Valor de p del análisis de varianza de la concentración de aceite esencial, en 1 g de muestra de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

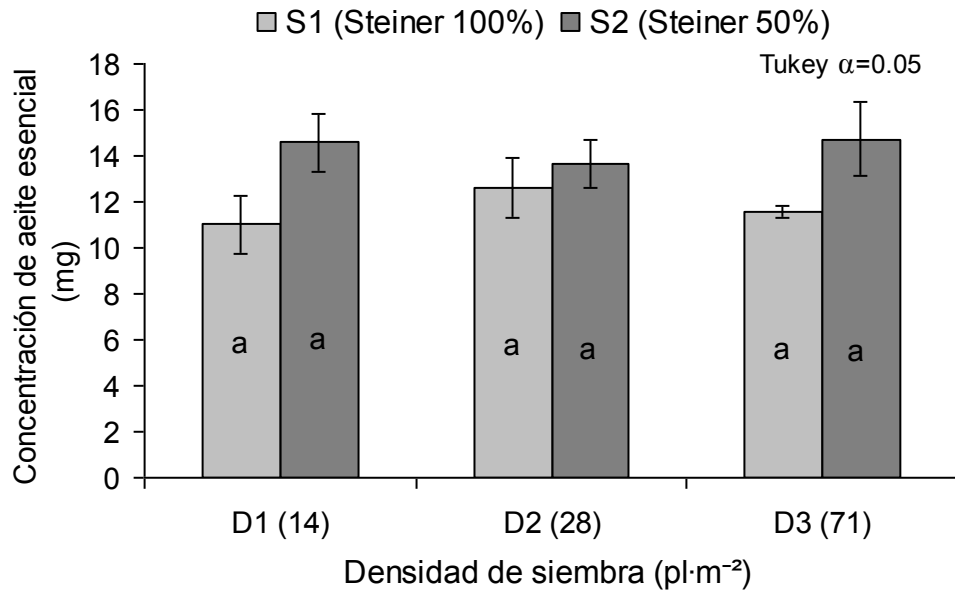
Fuente de variación	Concentración de aceites esenciales
Densidad	0.9502
Solución	0.0156*
Solución x Densidad	0.5326

* Significancia con $\alpha = 0.05$

Sin embargo, la concentración de aceites esenciales, en esta especie, presentó los valores más altos en la S2 D3 (14.72 mg), aunque la comparación de medias no arrojó diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05\%$) entre los tratamientos evaluados (densidad de siembra y solución nutritiva) como se puede observar en la Figura 36.

En el análisis por cromatografía de gases, del aceite esencial de tomillo, se observó un total de 10 picos, aunque solo se identificaron 4 componentes de este aceite (Figura 37), a los 19.91 minutos de retención, y un área del pico de 23.33 % se localizó timol, que se observó como el componente mayoritario, para esta especie.

Los picos restantes presentes en el cromatograma, corresponden a rastros de hexano, que fue utilizado para diluir la muestra.



Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.
Medias con letras diferentes presentan significancia

Figura 36. Concentración de aceite esencial en plantas de tomillo, en 1 g de muestra seca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

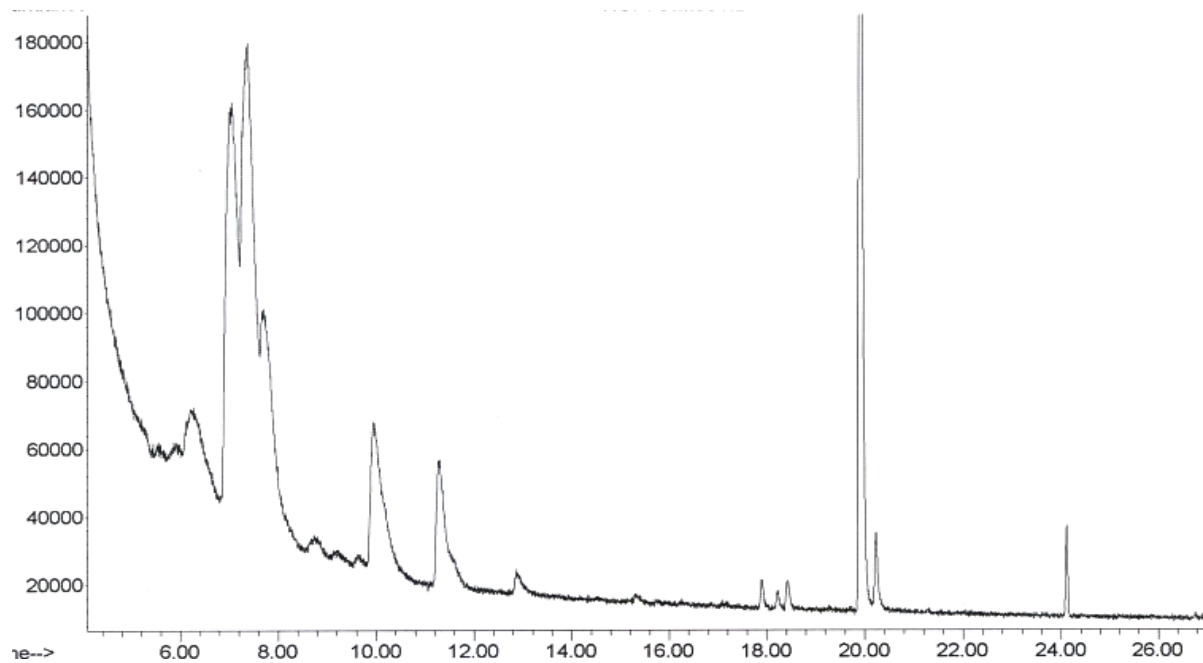


Figura 37. Cromatograma del aceite esencial de tomillo, cultivado con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Los componentes mayoritarios, del aceite esencial de tomillo, se presentan en el Cuadro 29, donde claramente se observa que timol es el componente principal de esta especie, cultivada en estas condiciones específicas. Carvacrol solo está presente en una mínima proporción (1.1%).

Cuadro 29. Compuestos mayoritarios en el aceite esencial de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Compuesto	Tiempo retención (min)	Área %
p-cimeno	9.947	7.361
α -terpineno	11.294	4.942
Timol	19.910	23.331
Carvacrol	20.229	1.100

6. DISCUSIÓN

6.1 Crecimiento Y Cosecha

El objetivo en la producción agrícola es obtener altos rendimientos y calidad en el producto que se va a cultivar. El rendimiento de un cultivo, se miden por el crecimiento del mismo, dado principalmente, por el aumento de volumen o tamaño y de masa o peso (Salisbury y Ross, 2000).

Las plantas aromáticas han sido cultivadas con la finalidad de obtener producto fresco, seco o aceite esencial, localizado principalmente en las hojas. De acuerdo al destino final de este producto, el rendimiento de estas especies se mide por el peso fresco y seco de la parte aérea, así como el área foliar principalmente o por la concentración y componentes del aceite esencial.

El aporte de nutrientes al cultivo de aromáticas influye significativamente sobre su rendimiento, en el caso de albahaca en su variedad de hoja ancha (*Ocimum basilicum* var. máxima) se ha demostrado por Kyung-Hwan y Yong-Beom (2004) que variaciones en la solución nutritiva inferiores al 100% ocasiona plantas más pequeñas, con menor peso fresco y seco así como menor número de hojas, que aquellas cultivadas con solución nutritiva al 100%. Por otro lado, Takano y Yamamoto (1996) y Smith *et al.* (1997) para la misma variedad, han reportado que el aumento de ciertos nutrientes como nitrógeno han incrementado significativamente la altura, el peso fresco, peso seco y área foliar. Aunque en la

presente investigación se cultivó la variedad fina de la misma especie, los resultados obtenidos nos demostraron que esta especie requiere un aporte del 100% de nutrientes para desarrollarse óptimamente, alcanzando los valores más altos de las variables evaluadas. Además el mayor peso fresco de la planta obtenido, proporcionó también el mayor peso seco tanto de la parte aérea como de raíz, así como el mayor número de hojas y área foliar, situación similar reportaron los autores antes mencionados.

Tomillo es una especie que también requiere un mayor aporte nutrimental, ya que con la solución al 100% las plantas alcanzaron los valores más altos de las variables evaluadas. Estos hechos concuerdan con lo reportado por Udagawa en 1995, quien observó un efecto significativo de la solución nutritiva con 100% de nutrientes sobre la altura de las plantas (32 cm) y el peso fresco (354 g). Por otro lado, en un cultivo en campo de la misma especie, se obtuvo un incremento de la altura y biomasa fresca y seca, al incrementar nitrógeno y fósforo a 200 y 150 kg h⁻¹, respectivamente (Omidbaigi y Arjmandi, 2002) aunque las plantas solo alcanzaron 29.61 cm de altura. Cabe recalcar que las plantas estudiadas en esta investigación alcanzaron valores más altos de altura (37.5 cm) que los reportados por estos autores, aunque el peso fresco y seco fue inferior que el reportado por Udagawa (1995).

Estos hechos y los reportados en la presente investigación, nos indican que la nutrición mineral tuvo una influencia definitiva en el cultivo de estas especies, la producción de biomasa total estuvo directamente relacionada con el contenido de nutrientes aportados con la solución nutritiva. Aunque no se realizaron análisis de

los nutrientes, se pudo observar diferencias en la coloración verde y reducción del tamaño de hoja, así como el tamaño de las plantas, que nos indican probables deficiencias en los elementos esenciales que alteraron los procesos fisiológicos, reduciendo el rendimiento de las plantas, como se pudo observar en las plantas de albahaca y tomillo, cultivadas con la solución al 50%.

Rendimientos altos se encuentran asociados a la aplicación de nutrientes frecuente y dirigido a la zona de la raíz, que ocasiona mayor absorción de estos e incrementa la productividad biológica y económica; se ha demostrado que estos hechos generan principalmente un incremento en la clorofila, así como del potencial fotosintético y consecuentemente rápido desarrollo de la superficie de asimilación (Mairapetyan, 1999).

Sin embargo, cada planta presenta diferente demanda de algún nutriente en particular, la interacción con otros factores de crecimiento puede provocar diferentes respuestas. El promedio de minerales nutrientes que una planta necesita, varía de acuerdo a la especie, genotipo, edad de la planta, lugar, estación del año (Azcon-Bieto y Talón, 2000). Este es el caso particular de orégano, cuyos requerimientos nutrimentales fueron distintos a tomillo y albahaca.

Rendimientos bajos de peso fresco y seco, en cultivos hidropónicos de orégano, han sido reportados por Wess y Stewart (1986) y Economakis y Fournaraki (1993), quienes aseguran que estas variables incrementan continuamente durante el período de crecimiento y alcanzan su máximo en la formación de semillas, además

sugieren que son necesarias más investigaciones para identificar las concentraciones óptimas de nutrientes, que cubra las necesidades de esta especie. Por otro lado, variaciones en los niveles de potasio en la solución nutritiva, no afectaron el peso fresco y seco de la parte aérea, ni el número de hojas (Economakis, 1993). El rendimiento elevado, con niveles más bajos de nitrógeno fue reportado por Omer (1999) en *Origanum mejorana*, y son atribuidos a un mejor aprovechamiento del elemento, provocado por un mayor desarrollo radical de las plantas hasta el segundo año de cultivo.

Estos hechos concuerdan con lo encontrado en la presente investigación, donde mayor rendimiento de este cultivo se obtuvo con la solución a 50%, aunque sin diferencias significativas entre los tratamientos. Se observó una relación entre el peso fresco y seco de la parte aérea, que corresponden a las plantas mas altas. Además se observó que a mayor peso fresco y seco obtenido con la solución a 50%, el desarrollo radical fue menor, situación que nos permite inferir que existió un buen aprovechamiento de nitrógeno y generó un mayor rendimiento de biomasa.

Sin embargo, Curioni *et al.* (2002) reportaron que la buena disponibilidad de nutrientes en el suelo favoreció la producción de biomasa, aunque sugirieron que la fertilización de esta especie varió el rendimiento cada año, ya que los niveles de altos nitrógeno alteraron la distribución de materia seca en distintos componentes de la biomasa, debido principalmente a las distintas etapas de desarrollo que se presentan en esta especie. Crecimiento vigoroso, mayor altura, diámetro del tallo y mejores rendimientos se han obtenido hasta el segundo año de cultivo.

Se considera que los bajos rendimientos de esta especie, están influenciados principalmente por la etapa fenológica en que fueron cosechadas, debido a que las plantas estaban en etapa juvenil, que se pudo evidenciar con la ausencia de floración. Varios autores coinciden en que rendimientos altos de biomasa se han presentado en etapas adultas y no en la fase juvenil de las plantas o hasta el segundo año del cultivo (Economakis, 1993; Economakis y Fournaraki, 1993; Omer, 1999; Curioni *et al.*, 1999).

Las plantas cultivadas alcanzan un crecimiento muy relacionado al espacio con que cuentan para vivir, dado por la competencia que se establece con sus semejantes de la misma especie cuyas exigencias nutricionales, lumínicas e hídricas son las mismas (Milthorpe y Moorby, 1982).

Albahaca fue una especie, que aunque presentó rendimientos altos en las densidades 28 y 71 pl·m⁻², fue con la densidad 14 pl·m⁻² que se presentaron los valores más altos. La variación en la altura de las plantas en las densidades 28 y 71 pl·m⁻², estuvo dado principalmente por la competencia por luz, ocasionado por la gran cantidad de follaje que esta especie produce, y que provocó sombreado en algunas plantas, reduciendo el crecimiento de otras. Este hecho, concuerda con lo reportado por Smith *et al.* (1997), quienes obtuvieron valores altos de biomasa fresca y seca, en densidades altas de siembra, y en la densidad más baja obtuvieron el mayor área foliar; concluyeron que las altas densidades provocaron

crecimiento acelerado de algunas plantas, mismas que limitaron el paso de luz hacia las más pequeñas, provocando así diversidad de tamaños. En un cultivo en campo (Rodríguez *et al.*, 2000), aunque los rendimientos más altos se obtuvieron en la densidad más baja, recomendaron sembrar la especie en densidades más altas, con la finalidad de determinar el aspecto práctico del cultivo. Por último, Nelkin y Schuch (2004) indicaron que la producción de biomasa fresca, en esta especie, se vio afectada por el sombreado; tanto la incidencia directa de los rayos solares, como el sombreado en un 50%, fueron factores que afectaron significativamente la productividad del cultivo.

Tomillo fue una especie cuyos requerimientos de espacio fueron menores, ya que alcanzó el mayor rendimiento de biomasa fresca y seca en la densidad 28 pl·m⁻², ligeramente diferente a la densidad 71 pl·m⁻². Esta es una especie de porte pequeño y de poco follaje, situación que permitió una buena captación de radiación para todas las plantas.

Datos similares han sido reportados por Badi *et al.* (2004) y Shalabi y Razin, (1992) en cultivos de tomillo en campo, los valores más altos de peso fresco, seco y altura, fueron obtenidos a altas densidades (15 cm entre cada planta), aseverando que estos resultados se presentaron debido al incremento de la cubierta vegetativa, que ocasionaron un mejor aprovechamiento de luz.

Por otro lado, las plantas de orégano desarrollaron un gran número de raíces adventicias y crecimiento rastrero, provocando competencia por espacio. Esta

situación ocasionó que las plantas cultivadas en la densidad 14 pl·m⁻², desarrollaran mayor número de hojas y área foliar, ya que fueron las plantas que mejor interceptaron la luz. Aunque no se presentó diferencia significativa entre los tratamientos.

6.2 Aceites Esenciales

En la concentración de aceite esencial, los resultados fueron consistentes para las tres especies, no existió efecto significativo por la densidad de siembra y aunque no se presentó diferencia estadística entre las soluciones, de manera cualitativa fue con la solución a 50% que se presentaron las concentraciones mas elevadas de aceite esencial en las tres especies. Se ha reportado que la producción de metabolitos secundarios se ven inducidos por el ataque de patógenos, el exceso de O₃ y de radiación UV, el frío o la falta de nutrientes minerales: deficiencias en nitrógeno provocan el aumento de flavonoides, carencia de fosfatos aumentan la concentración de antocianinas y la carencia de hierro provoca el incremento en ácido fenólicos (Azcon Bieto y Talón, 2000). También se ha reportado que el cultivo hidropónico de aromáticas no incrementa el porcentaje de aceite esencial, pero si la cantidad de sus componentes (Mairapetyan, 1999).

Los resultados reportados en este experimento, son consistentes con los reportados por otros investigadores, aunque la producción de aceites esenciales se puede ver afectada por la luz y temperatura existe una tendencia de presentar mayor

concentración bajo cualquier tipo de estrés, inducido en este caso por la poca disponibilidad de nutrientes.

Aunque se ha observado que la fertilización nitrogenada, en cultivo en campo de albahaca incrementa la concentración de aceite esencial a 1.5% (Basker y Putievski, 1977) y en cultivo hidropónico altas concentraciones de calcio y potasio (40 meq L⁻¹) en la solución nutritiva, incrementaron la concentración y composición de aceites esenciales (Takano, 1993). Otros autores (Ichimura *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 1997 y Fernández *et al.*, 2004) han reportado que bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo incrementaron la concentración de aceite; ellos mencionaron que este tipo de estrés (nutrimental) propició la producción de metabolitos secundarios sin diferencias en su concentración de acuerdo a los tratamientos.

Por otro lado, el porcentaje de aceite esencial obtenido de albahaca, estuvo entre el 1 y 1.4%, considerándose como una variedad de alto rendimiento, de acuerdo a lo reportado por Basker y Putievsky (1977), quienes consideran que valores entre el 1 a 2.1% de aceite esencial corresponde a variedades de alto rendimiento.

La cromatografía de Gases ha sido una técnica ampliamente usada en el análisis de aceites esenciales de aromáticas (Masada, 1976; Sanz *et al.*, 1989). En albahaca cultivada a cielo abierto, los resultados fueron similares en cuanto a la composición química del aceite esencial de esta especie, reportaron a linalol, metil chavicol y eugenol, como componentes mayoritarios (Sánchez, *et al.*, 2000; Acosta *et al.*, 2003; Viña y Murillo, 2003; Sifola y Barbieri, 2006). En cultivos hidropónicos, la

composición química de aceites esenciales de esta especie ha sido estudiada por Ichimura *et al.*, 1995; Smith *et al.*, 1997; Teixeira *et al.*, 2002 y Fernández *et al.*, 2004, todos reportaron a linalol como el componente mayoritario de esta especie (entre 31.7% y 44.31%), coincidiendo con los resultados reportados en la presente investigación, cuyo porcentaje de linalol encontrado fue de 32.63.

Se han documentado numerosos trabajos fitoquímicos orientados a conocer la composición química y rendimiento del aceite esencial en *Origanum sp.*, por ejemplo, Barreyro *et al.* (2005) mencionan que la fertilización nitrogenada no incrementó la calidad del producto, ya que no existió un cambio en el número de hojas y porcentaje de esencia. Además, el incremento de Fe en la solución nutritiva resultó en decremento del aceite esencial de esta especie (Yeritsyan y Economakis, 2002). En lo que respecta a su composición química, en plantas cultivadas a cielo abierto, Aligianis *et al.* (2001) identificaron un total de 45 constituyentes, carvacrol, terpinen-4-ol, linalol, sabineno, α -terpineno y β -terpineno fueron los componentes mayoritarios. Arcila-Lozano *et al.* (2004) reportaron como componentes mayoritarios el limoneno, β -cariofileno, p -cimeno, alcanfor, linalol, α -pineno, timol y carvacrol, en *Origanum vulgare* y encontraron que un incremento en los porcentajes de timol provoca un decremento en el contenido de carvacrol. Karioti *et al.* (2006) reportaron un total de 39 compuestos y carvacrol fue el componente mayoritario, en *Origanum dubium*. Economakis y Fournaraki (1993) en un cultivo hidropónico de *Origanum vulgare*, identificaron 46 componentes, cuyo constituyente principal fue carvacrol (29 a 73%).

Estos resultados no concuerdan con lo encontrado en esta investigación, ya que solo se obtuvo entre .85 y 1.12% de aceite esencial y timol fue su único componente, situación que pudo estar influenciada nuevamente por la etapa fenológica en que fue cosechada la especie, ya que ha sido reportado por Economakis y Fournaraki (1993), que es hasta la floración, que se encuentra el mayor porcentaje de aceite esencial.

En lo que respecta a tomillo, fue una especie cuyo rendimiento más alto de aceite esencial fue de 1.47%, con la solución al 50% y su componente mayoritario fue timol. Trabajos previos han establecido que la concentración de aceite esencial no está influenciada por la fertilización, ni el espaciamiento (Shalabi y Razin, 1992; Baranauskiene *et al.*, 2003). Aunque Udagawa (1995) al evaluar la concentración de aceites esenciales en respuesta al cultivo hidropónico de tomillo, encontró mayor porcentaje de aceite esencial con los más altos aportes de nutrientes (3.6 mS/cm), pero la concentración de timol fue mayor a la más baja concentración de nutrientes (1.2 mS/cm). Por otro lado, Omidbaigi y Arjmandi (2002) reportaron que la concentración de nitrógeno y fósforo tuvo un efecto significativo, sobre la concentración de aceite esencial (1.10%), sin afectar la concentración de timol (38.7%), en un cultivo en campo y D'Auria *et al.* (2005) al realizar un estudio sobre la composición de los aceites esenciales de varias especies de tomillo, encontró que la proporción de timol varió en función de la presencia o ausencia de carvacrol. Timol fue el componente mayoritario reportado por los todos los autores.

7. CONCLUSIONES

Conclusión general

Cada especie responde de manera diferente a la competencia por espacio y tiene diferentes requerimientos nutrimentales, sin embargo la solución a 50% favorece la cantidad de aceites esenciales en las tres especies.

Conclusiones específicas

Albahaca

1. Es una especie que requiere mayor aporte nutrimental, con la solución nutritiva Steiner al 100% se obtuvieron los valores más altos de: longitud y diámetro del tallo, peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de raíz, longitud y número la hoja, así como área foliar.
2. Con las densidades de 14 y 28 pl·m⁻² se alcanzaron los valores más altos de: diámetro del tallo, peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de raíz, longitud y número de hojas, así como área foliar total.
3. La concentración más alta de aceite esencial se presento con la solución al 50%.
4. El componente mayoritario del aceite esencial, de esta especie fue linalol.

5. Se considera que los mejores tratamientos para la producción de albahaca, tanto para consumo en fresco como en seco, son las densidades 14 y 28 $\text{pl}\cdot\text{m}^{-2}$, regadas con una solución nutritiva Steiner a 100%.

Orégano

1. Esta especie presentó menor requerimiento nutrimental, con la solución al 50% que se obtuvieron los valores más altos de: longitud y diámetro del tallo, peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de raíz, longitud y número de hojas, así como área foliar.
2. Con la siembra de 14 $\text{pl}\cdot\text{m}^{-2}$, se obtuvo los valores más altos de: longitud de la planta, peso seco de raíz, número de hojas y área foliar total y con la densidad de 71 $\text{pl}\cdot\text{m}^{-2}$, se obtuvo el valor más alto de peso fresco y seco de la parte aérea.
3. La concentración más alta de aceite esencial se presentó con la solución al 50%.
4. El único componente del aceite esencial, fue carvacrol.

Tomillo

1. Tomillo, al igual que albahaca, requiere un mayor aporte de nutrientes (100%) para obtener valores altos de: longitud y diámetro del tallo, peso fresco y seco de la parte aérea de la planta, longitud y número de hojas, así como área foliar total.

2. Con las densidades de siembra 28 y 71 plantas m^{-2} se obtuvieron los valores más altos de: longitud y diámetro del tallo, peso fresco y seco de la parte aérea, peso seco de raíz, longitud y número de hojas, además de área foliar total.
3. En las plantas regadas con una solución al 50%, se obtuvo la concentración más alta de aceite esencial.
4. Esta es una especie rica en aceite esencial, cuyo componente mayoritario es el timol, causante del aroma característico de estas plantas.
5. El cultivo hidropónico e intensivo de tomillo es una opción altamente redituable para la producción a gran escala ya que se obtienen plantas de alta calidad. Por otro lado, si consideramos que la producción de biomasa fue incrementada en densidades de siembra mayores a la recomendada, la cantidad total de aceite esencial por planta también aumentó.

8. LITERATURA CITADA

ACOSTA L. L. 2003. Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. *Rev Cubana Plant Med.*

ACOSTA M., GONZÁLEZ M., ARAQUE M., VELAZCO E., KHOURF N., ROJAS L. Y USUBILLAGA A. 2003. Composición química de los aceites esenciales de *Ocimum basilicum* L. var *basilicum*, *O. basilicum* L. var *purpurenscens*, *O. gratissimum* L., y *O. tenuiflorum* L., y su efecto antimicrobiano sobre bacterias multirresistentes de origen nosocomial. *Revista de la Facultad de Farmacia* 45(1):19-24.

ALIGIANNIS N., KALPOUTZAKIS E., MITAKU S. AND CHINOU I. 2001. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. *J. Agric. Food Chem.* 49:4168-4170.

ARCILA-LOZANO C., LOARCA-PIÑA G., LECONA-URIBE S. Y GONZÁLEZ E. 2004. El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *ALAN*. [online]. mar. 54 (1) [citado 29 Julio 2007], p.100-111. www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000406222004000100015&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0004-0622.

ARIZA B. A. 1999. Producción de hierbas aromáticas en hidroponía en Tecalitla, Mor. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. 105p.

ARIZIO O. 2002a. Análisis de las importaciones de especias del mercado europeo en los finales del siglo XX. *Acta Hort.* (ISHS) 569:21-27.

- ARIZIO O. 2002b. Análisis de las importaciones de aceites esenciales del mercado europeo en los finales del siglo XX. *Acta Hort.* 569:141-147.
- ARIZIO O. Y CURIONI A. 2003. Estudios agroalimentarios: Productos aromáticos y medicinales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Argentina. 33p.
- AZCON-BIETO T. Y TALÓN M. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill. Barcelona, España. 522p.
- BADI H., YAZDANI D., MOHAMMAD S. AND NAZARI F. 2004. Effects of spacing and harvesting time on herbage yield and quality/quantity of oil in thyme, *Thymus vulgaris* L. *Science Direct* 19:231-236.
- BARANAUSKIENE R., VENSKUTONIS R., VISKELIS P. AND DAMBRAUSKIENE E. 2003. Influence of nitrogen fertilizers on the yield and composition of thyme (*Thymus vulgaris*). *J. Agric. Food Chem.* 51:7751-7758.
- BARREYRO R., RINGUELET J. AND AGRÍCOLA S. 2005. Fertilización nitrogenada y rendimiento en orégano (*Origanum x applii*). *Cin. Inv. Agr.* 32(1):39-43.
- BASKER D. AND PUTIEVSKI E. 1977. Experimental cultivation of marjoram, oregano and basil. *Journal of Horticultural Science.* 52:181-188.
- BENOIT F. AND CEUSTERMANS N. 1995. Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. *Acta Hort.* 396:11-23.
- BRUNETON J. 1996. Elementos de fitoquímica y farmacognosia, Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1120p.
- CADAHIA C. 2000. Fertirrigación: cultivos hortícolas y ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. 2ª ed. España. 474p.

- CIESTAMM. 2005. Agricultura, apicultura y ganadería orgánica de México-2005. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- CRAKER L. E. 1999. Trends in medicinal and aromatic plant production in the United States. *Acta Hort.* 502:71-76.
- CSIZINSKY A. 1993. The potential for aromatic plant production with plastic mulch culture in Florida. *Acta Hort.* 331:27-34.
- COX D. 1992. Fertilizing herbs. *The Herb, Spice and Medicinal Plant Digest* 10(3):1-5.
- CRONQUIST A. 1984. Introducción a la botánica. Editorial Continental. México. 848p.
- CURIONI A., GARCÍA M., ROLANDO A., ALFONSO W. Y ARIZIO O. 2002. Producción de orégano (*Origanum vulgare* L.) y tomillo (*Thymus vulgaris* L.) en el centro-oeste Bonaerense. *Acta Hort.* (ISHS) 569:281-287.
- D'AURIA M., MAURIELLO G., MARINO R. AND RACIOPPI R. 2005. Composition of volatile fractions from *Thymus*, *Origanum*, *Lavandula* and *Acinos* species. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants* 8(1):36-51.
- DOMÍNGUEZ X. A. 1985. Métodos de investigación fitoquímica. Ed. Limusa. México. 281p.
- DUDAREVA N., PICHERSKY E. AND GERSHENZON J. 2004. Biochemistry of plant volatiles. *Plant Physiology* 135:1893-1902.
- ECONOMAKIS C. D. 1993. Effect of potassium on growth and yield of *Origanum dictamnus* L. in solution culture. *Acta Hort.* (ISHS) 331:339-344.

- ECONOMAKIS C. D. AND FOURNARAKI C. E. 1993. Growth and nutrient uptake of *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* in solution culture. *Acta Hort.* (ISHS) 331:345-350.
- ELDER H., MONELLA H. Y SPEKULJAK Z. 2005. Aprovechamiento integral de especies vegetales aromáticas y medicinales. SIT Ingeniería. Costa Rica. 11 p.
- FIA. 2003. Calidad en la producción y elaboración de plantas medicinales. Gobierno de Chile. www.fia.gob.cl. (Consultado el 8 de febrero de 2006).
- FERNANDES P., FACANALI R., TEIXEIRA F., FURLANI P. AND MARQUES M. 2004. Cultivo de majericão em hidroponia em diferentes substratos sob ambiente protegido. *Hortic. Bras.* 22(2):260-264.
- GARCÍA E. M. 1987. Modificación al sistema climático de Köpen. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp. 217.
- GALAMBOSI B., GALAMBOSI Zs., PESSALA R. AND REPCAK M. 2002. Yield and quality of selected herb cultivars in Finland. *Acta Hort.* 576:139-149.
- HERNÁNDEZ A. M. 2003. Evaluación postcosecha de seis especies aromáticas. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, México. 94 p.
- HÜSNÜ C. B. 1999. Industrial utilization of medicinal and aromatic plants. *Acta Hort.* (ISHS) 503:177-192.
- INTA. 2006. Cultivo de plantas aromáticas. Argentina. Pp. 24-32.

- ICHIMURA M., IKUSHIMA M., MIYAZAKI T. AND KIMURA M. 1995. Effect of phosphorus on growth and concentration of mineral elements and essential oils of sweet basil leaves. *Acta Hort.* (ISHS) 396:195-201.
- JAYASINGHE C., GOTOH N., AOKI T. AND WADA S. 2003. Phenolics composition and antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) *J. Agric. Food Chem.* 51:4442-4449.
- JUÁREZ H., BACA C., ACEVES N., SÁNCHEZ G., TIRADO T., SAHAGÚN C., Y COLINAS L. 2006. Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas em estúdios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31(4):246-253.
- KARIOTI A., VRAHIMI-HADJILOUCA T., DROUSHIOTIS D., RANCIC A., HADJIPAYLOU-LITINA D. AND SKALTSA H. 2006. Análisis of the essential oil of *Origanum dubium* growing wild in Cyprus. Investigation of its antioxidant capacity and antimicrobial activity. *Planta Med* 72:1330-1334.
- KESSLER A. AND BALDWIN T. 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science* 291:2141-2144.
- KOSTYUKOVSKY M., RAVID U. AND SHAAAYA E. 2002. The potential use of plant volatiles for the control of stored product insects and quarantine pest in cut flowers. *Acta Hort.* (ISHS) 576: 347-358.
- KUKLINSKI C. 2003. Farmacognosia: estudio de las drogas y sustancias medicamentosas de origen natural. Ediciones Omega.
- KYUN-HWAN Y. AND YONG-BEOM L. 2004. Development of optimum nutrient solution for sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) in a closed system. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 22(1):29-36.

- MAIRAPETYAN S. K. 1999. Aromatic plant culture in open-air hydroponics. *Acta Hort.* (ISHS) 502:33-41.
- MILTHORPE F. AND MOORBY J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Argentina. 259p.
- MUÑOZ L. 2002. Plantas medicinales y aromáticas: estudio cultivo y procesado. Ed. Mundi-Prensa. 365p.
- MASADA Y. 1976. Análisis of essential oils by gas chromatography and mass spectrometry. John Wiley & Sons, Inc. New York, U.S.A. 331p.
- NELKIN J. AND SCHUCH U. 2004. Retractable roof greenhouse production of basil (*Ocimum basilicum*) and lemon grass (*Cymbopogon citrates*) in a semi-arid climate. *Acta Hort.* (ISHS) 659:113-120.
- OMER E. A. 1999. Response of wild Egyptian oregano to nitrogen fertilization in sandy soil. *Journal of Plant Nutrition* 23:103-114.
- OMIDBAIGI R. AND ARJMANDI A. 2002. Effects of NP supply on growth, development, yield and active substances of garden thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Acta Hort.* (ISHS) 576:263-265.
- PARÉ P. AND TUMLINSON J. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiology* 121:325-331.
- RAIMONDI G., ORSINI F., MAGGIO A., DE PASCALE S. AND BARBIERI G. 2006. Yield and quality of hydroponically grown sweet basil cultivars. *Acta Hort.* (ISHS) 723:357-369.
- RODRÍGUEZ F., CARLOS A., LEMES H., CIRO M. Y GARCÍA G. 2000. Distancia de plantación en *Ocimum tenuiflorum* L. *Rev Cubana Plant Med* %(2):41-45.

- SAGARPA. 2006. Pequeños productores exportan 450 toneladas de hierbas aromáticas a Estados Unidos, Canadá y Europa. Boletín Num. 092/06.
- SALISBURY F. Y ROSS C. 2000. Fisiología de las plantas. Thomson Learning. España. 988p.
- SÁNCHEZ G., LEAL L., HERNÁNDEZ L. y RODRÍGUEZ C. 2000. Estudio farmacognóstico de *Ocimum basilicum* L. (albahaca blanca). *Rev Cubana Farm.* 34(3):187-195.
- SANTOS J., LUZ Q., FURLANI P., MARTINS S., HABER L. AND LEMA R. 2005. cultivo da alfavaca em sistema hidropônico sob diferentes concentrações de solução nutritiva. *Biosci. J., Uberlândia* 21(2):21-24.
- SAMPERIO R. G. 2002. Hidroponía básica. Editorial Diana. México. 153 p.
- SAMPERIO R. G. 2005. Un paso más a la hidroponía. Diana. México. 312p.
- SAS Institute. 1994. The SAS system for windows. Release 8.10. SAS Institute. Cary, NC.
- SHALABY A. AND RAZIN A. 1992. Dense cultivation and fertilization for higher yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *J. Agrom. Crop Sci.* 168:243-248.
- SHORES S. 2003. Growing and selling fresh-cut herbs. Second edition. Ball Publishing. U.S.A. 482p.
- SIFOLA M. AND 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.

- SKAGG K. 1996. The urban gardener. *American Horticulturist*: 9-10.
- SMITH C., SYABODA K. AND NOON M. 1997. Controlling the growth and quality of hidroponically grown basil (*Ocimum basilicum* L.). *Acta Hort.* (ISHS) 450:479-487.
- SANZ J., HERRAIZ T. Y SANTACECILIA M. 1989. Jornadas Ibéricas de plantas medicinales, aromáticas y de aceites esenciales: Análisis de componentes volátiles de plantas por cromatografía de gases mediante introducción directa. *Ministerio de Agricultura , Pesca y Alimentación* 165-174.
- STAPLETON S. AND HOCHMUTH R. 2001. Greenhouse production of several fresh-cut herbs in vertical hydroponic systems in North Central Florida. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 114:332-334.
- STEINER A. A. 1966. The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil.* 24:434-466.
- STEINER A. A. 1968. Soilles culture. En *Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst.* Florence, Italy. Pp. 324-341.
- STEINER A. A. 1984. the Universal nutrient solution, en *Proc 6th Int. Cong. Soilless Cult.* Pp. 633-649.
- SUCCOP E. 1998. Hydroponic greenhouse production of fresh market basil. Master's thesis. Colorado State University. Colorado, USA. 54p.
- TAKANO T. 1993. Effects of the ratios of K to Ca in the nutrient solution on the growth, nutrient uptake, essential oil content and composition of basil. *Acta Hort.* (ISHS) 331:129-133.

- TAKANO T. AND A. YAMAMOTO. 1996. Effect of anion variations in a nutrient solution on basil growth, essential oil content and composition. *Acta Hort.* (ISHS) 426:389-397.
- TEIXEIRA F., MARQUES AND FURLANI P. 2002. Essential oil contents in two cultivars of basil cultivated on NFT-hydroponics. *Acta Hort.* (ISHS) 569:203-208.
- TRUEMAN S. AND WICK R. 1996. *Fusarium* wilt of herbs. *Acta Hort.* (ISHS) 426:365-373.
- UDAGAWA Y. 1995. Some response of dill (*Anethum graveolums*) and thyme (*Thymus vulgaris*), grown in hydroponic, to the concentration of nutrient solution. *Acta Hort.* (ISHS) 396:203-210.
- VIESCA T. C.1976. La herbolaria en el México prehispánico: Estado actual del conocimiento en plantas medicinales mexicanas. Editor Xavier Lozoya. México. Pp. 11-26.
- VIÑA A. AND MURILLO E. 2003. Essential oil composition from twelve varieties of basil (*Ocimum spp*) grown in Colombia. *J. Braz. Chem. Soc.*14(5):744-749.
- WESS D. AND STEWART K. 1986. The potential on NFT for the production of six herb species. *Solilles Culture* 2:61-70.
- YANISHLIEVA N., MARINOVA E. AND POKORNY J. 2006. Natural antioxidants from herbs and spices. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 108:776-793.
- YAN-LI L., CRAKER E. AND POTTER T. 1996. effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). *Acta Hort.* (ISHS) 426:419-426.

YERITSYAN N. AND ECONOMAKIS C. 2002. Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants grown in solution culture. *Acta Hort.* (ISHS) 576:277-283.

VAN ASSCHE C. 1995. Soil disinfestation according to legislation and in practice. *Acta Hort.* (ISHS) 382:

APÉNDICE 1

Comparación de medias de la altura de la planta en albahaca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 60 días después del trasplante.

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	3	EE	9	EE	15	EE	21	EE
100%	14	5.15a	0.132	5.70a	0.071	6.75a	0.096	9.05ab	0.320
	28	4.55a	0.119	5.30a	0.147	6.37a	0.144	8.25b	0.210
	71	4.95a	0.119	5.80a	0.212	6.82a	0.266	9.70a	0.430
50%	14	4.77a	0.131	5.70a	0.108	6.70a	0.297	8.30b	0.370
	28	4.72a	0.225	5.75a	0.338	6.65a	0.119	8.37ab	0.253
	71	4.52a	0.048	5.25a	0.132	6.32a	0.131	8.20b	0.204

SOLUCIÓN	DENSIDAD pl·m ⁻²	27	EE	36	EE	42	EE	51	EE
100%	14	12.72a	0.448	17.15a	0.625	20.47b	0.527	23.45b	0.185
	28	10.87b	0.461	14.62b	0.375	20.05b	0.044	23.97b	0.704
	71	13.35a	0.369	16.80a	0.450	22.65a	0.397	26.62a	0.357
50%	14	10.97b	0.075	13.32b	0.411	17.42c	0.315	20.20c	0.294
	28	10.97b	0.229	13.85b	0.497	17.77c	0.382	20.20c	0.319
	71	10.95b	0.287	14.05b	0.397	17.92c	0.686	20.30c	0.929

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	57	EE	60	EE
100%	14	26.25b	0.144	28.12ab	0.826
	28	25.82bc	0.650	26.72bc	0.777
	71	29.37a	0.554	30.62a	0.427
50%	14	24.62bc	0.554	25.05cd	0.369
	28	23.37cd	0.591	23.82de	0.397
	71	21.17d	0.823	21.65e	0.789

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar

Cada valor es la media de tres mediciones \pm error estándar.

APÉNDICE 2

Comparación de medias del diámetro del tallo de plantas de albahaca, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 60 días después del trasplante.

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	3	EE	9	EE	15	EE	21	EE
100%	14	1.35a	0.09	1.37a	0.10	1.40ab	0.09	1.47ab	0.14
	28	1.32ab	0.09	1.32a	0.09	1.50a	0.06	1.60a	0.07
	71	1.05bc	0.03	1.20ab	0.04	1.45ab	0.06	1.55a	0.03
50%	14	1.12abc	0.05	1.15ab	0.05	1.37abc	0.06	1.47ab	0.06
	28	1.07abc	0.03	1.10ab	0.04	1.20bc	0.04	1.30ab	0.04
	71	0.95c	0.01	1.00b	0.07	1.10c	0.07	1.17b	0.06

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	27	EE	36	EE	42	EE	51	EE
100%	14	1.80a	0.20	2.32a	0.20	2.95a	0.17	3.47a	0.06
	28	1.65ab	0.05	1.82b	0.03	1.95b	0.03	2.42b	0.08
	71	1.67a	0.03	1.82b	0.05	1.97b	0.03	2.3b	0.04
50%	14	1.62ab	0.05	1.85b	0.05	2.02b	0.09	2.32b	0.10
	28	1.40ab	0.04	1.52bc	0.05	1.65bc	0.06	1.80c	0.07
	71	1.25b	0.06	1.37c	0.05	1.5c	0.06	1.60c	0.06

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	57	EE	60	EE
100%	14	3.57a	0.05	3.57a	0.05
	28	2.57b	0.05	2.57b	0.05
	71	2.30c	0.04	2.35b	0.03
50%	14	2.37bc	0.09	2.37b	0.09
	28	1.90d	0.07	1.92c	0.05
	71	1.67d	0.05	1.67d	0.05

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada valor es la media de tres mediciones \pm error estándar.

APÉNDICE 3

Comparación de medias de la altura de la planta en orégano, cultivada con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 90 días después del trasplante.

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	1	EE	6	EE	12	EE	18	EE
100%	14	1.17a	0.100	1.25a	0.140	2.00a	0.455	3.02a	0.710
	28	0.95a	0.050	1.05a	0.050	1.42a	0.215	2.32a	0.290
	71	1.37a	0.235	1.37a	0.235	1.75a	0.320	2.67a	0.725
50%	14	1.72a	0.435	1.80a	0.425	2.25a	0.595	2.57a	0.375
	28	2.00a	0.200	2.20a	0.245	2.97a	0.377	3.75a	0.250
	71	1.52a	0.185	1.75a	0.320	2.17a	0.345	3.75a	0.825

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	24	EE	30	EE	36	EE	42	EE
100%	14	4.52a	0.955	5.80a	1.525	7.25a	2.095	10.05b	2.145
	28	3.65a	0.250	5.00a	0.000	7.25a	0.625	9.75b	0.750
	71	4.77a	1.125	6.12a	1.850	8.62a	1.950	12.00ab	2.545
50%	14	3.62a	0.375	6.50a	0.500	9.25a	0.475	14.00ab	0.910
	28	6.12a	1.960	7.25a	1.930	14.00a	2.120	19.75a	2.560
	71	4.80a	1.000	6.50a	1.190	10.80a	1.425	14.25ab	1.650

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	48	EE	54	EE	60	EE	66	EE
100%	1	14.85ab	3.635	19.75a	5.805	23.92a	8.425	28.25a	9.395
	2	12.25b	0.850	16.00a	1.410	19.25a	2.250	23.50a	2.985
	3	15.00ab	2.940	20.50a	3.096	23.00a	3.160	25.25a	3.420
50%	1	21.75ab	2.495	26.00a	3.715	30.75a	5.325	35.75a	6.785
	2	23.25a	1.930	27.75a	1.310	32.50a	0.285	37.00a	0.705
	3	18.25ab	1.545	22.25a	2.135	32.50a	3.940	32.75a	5.405

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	72	EE	78	EE	81	EE	90	EE
100%	14	31.55a	9.935	34.87a	10.135	37.75a	10.750	39.75a	10.950
	28	28.55a	3.915	32.25a	4.815	36.00a	6.190	37.50a	6.330
	71	27.75a	4.025	31.50a	4.695	36.25a	6.045	41.50a	7.410
50%	14	40.00a	8.195	49.62a	9.000	54.00a	9.800	53.50a	9.785
	28	41.25a	1.930	44.75a	3.420	48.25a	3.940	51.50a	4.555
	71	37.25a	6.430	41.00a	6.985	45.00a	7.785	50.00a	7.925

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar

Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

APENDICE 4

Comparación de medias del diámetro de tallo de plantas de orégano, cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 90 después del trasplante. Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	1	EE	6	EE	12	EE	18	EE
100%	14	1.05a	0.05	1.05a	0.05	1.02a	0.05	1.12a	0.05
	28	0.95ab	0.17	0.95ab	0.17	0.95ab	0.17	1.00ab	0.12
	71	0.70ab	0.04	0.70abc	0.04	0.70abc	0.04	0.90ab	0.04
50%	14	0.60bc	0.04	0.60bc	0.04	0.60bc	0.04	0.80b	0.00
	28	0.57bc	0.08	0.57bc	0.08	0.57bc	0.08	0.82b	0.08
	71	0.55c	0.06	0.55c	0.06	0.55c	0.06	0.92ab	0.03

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	24	EE	30	EE	36	EE	42	EE
100%	14	1.15a	0.05	1.17b	0.03	1.30b	0.00	1.40c	0.00
	28	1.27a	0.05	1.42ab	0.03	1.52b	0.03	1.65bc	0.05
	71	1.75a	0.03	1.37ab	0.03	1.57ab	0.03	1.77b	0.03
50%	14	1.25a	0.10	1.62a	0.17	1.97a	0.21	2.37a	0.18
	28	1.12a	0.05	1.27b	0.03	1.52b	0.05	1.82b	0.05
	71	1.12a	0.03	1.37ab	0.05	1.57ab	0.05	1.77b	0.05

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	48	EE	54	EE	60	EE	66	EE
100%	14	1.57d	0.03	1.85c	0.05	2.12cd	0.08	2.32cd	0.08
	28	1.75cd	0.05	1.90c	0.10	2.02d	0.13	2.12d	0.13
	71	2.02bc	0.06	2.25bc	0.09	2.47bcd	0.11	2.67bc	0.11
50%	14	2.72a	0.17	3.10a	0.17	3.37a	0.13	3.62a	0.09
	28	2.17b	0.06	2.55b	0.05	2.82b	0.03	3.07b	0.05
	71	2.02bc	0.10	2.25bc	0.09	2.55bc	0.14	2.80bc	0.18

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	72	EE	78	EE	81	EE	90	EE
100%	14	2.52cd	0.08	2.72bc	0.08	2.87bc	0.08	2.87bc	0.08
	28	2.32d	0.13	2.52c	0.13	2.60c	0.10	2.72c	0.08
	71	2.90bcd	0.14	3.12bc	0.09	3.12bc	0.09	3.12bc	0.09
50%	14	3.90a	0.16	4.05a	0.17	4.05a	0.17	4.05a	0.17
	28	3.20b	0.07	3.31b	0.12	3.31b	0.12	3.33b	0.11
	71	2.97bc	0.23	2.97bc	0.23	2.97bc	0.23	2.97bc	0.23

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar

Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

APENDICE 5

Comparación de medias de la altura de planta en tomillo, cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra, durante los 81 días después del trasplante. Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	1	EE	6	EE	12	EE	18	EE
100%	14	4.42a	0.390	4.92a	0.430	6.65a	0.430	8.87a	0.310
	28	3.42a	0.265	5.12a	0.425	6.87a	0.745	8.77a	0.515
	71	3.37a	0.235	3.62a	0.175	6.00a	0.000	8.27a	0.265
50%	14	4.42a	0.250	5.12a	0.380	8.12a	0.310	9.62a	0.625
	28	3.37a	0.235	4.62a	0.375	6.45a	0.815	9.50a	1.205
	71	3.12a	0.425	4.12a	0.470	6.20a	0.385	8.35a	0.920

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	24	EE	30	EE	36	EE	42	EE
100%	14	10.00a	0.405	11.50a	0.350	15.75a	1.030	17.75a	1.180
	28	10.37a	0.470	12.50a	0.885	15.62a	1.025	18.75a	0.945
	71	10.75a	0.850	13.37a	1.430	16.62a	1.350	18.25a	0.475
50%	14	11.25a	1.030	12.87a	1.530	15.12a	1.635	17.25a	1.310
	28	10.50a	1.190	11.77a	1.100	14.50a	1.040	16.00a	1.080
	71	10.75a	1.310	13.12a	1.875	16.62a	0.895	18.25a	0.750

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	48	EE	54	EE	60	EE	66	EE
100%	14	20.50a	1.500	23.50a	1.255	24.75a	1.250	26.00b	1.290
	28	22.50a	1.440	28.25a	1.105	31.00a	0.910	33.50a	1.190
	71	20.50a	0.285	25.50a	1.440	28.50a	1.190	31.50ab	0.955
50%	14	20.00a	1.470	22.75a	1.250	26.00a	1.775	29.00ab	2.120
	28	17.62a	1.310	24.50a	2.465	26.50a	1.845	28.50ab	1.440
	71	20.50a	0.600	25.25a	1.700	27.25a	2.055	28.75ab	2.170

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	72	EE	78	EE	81	EE
100%	14	27.25b	1.375	28.50b	1.500	29.72c	0.22
	28	35.75a	1.490	37.00a	1.580	37.50a	0.34
	71	33.75ab	0.850	35.75ab	1.105	36.37ab	0.59
50%	14	31.25ab	2.170	33.25ab	2.285	34.10ab	2.02
	28	30.00ab	1.220	31.25ab	1.250	32.54bc	0.55
	3	29.75ab	2.390	30.75ab	2.655	31.31bc	2.39

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar

APENDICE 6

Comparación de medias del diámetro de tallo de plantas de tomillo, cultivadas con Solución nutritiva Steiner y tres densidades de siembra, durante los 81 días después del trasplante. Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	D1	EE	D6	EE	D12	EE	D18	EE
100%	14	0.49a	0.03	0.54a	0.02	0.74ab	0.03	0.85b	0.03
	28	0.54a	0.05	0.59a	0.05	0.81a	0.04	1.09a	0.02
	71	0.50a	0.05	0.57a	0.06	0.79ab	0.03	0.93ab	0.04
50%	14	0.48a	0.02	0.52a	0.03	0.67ab	0.04	0.86b	0.04
	28	0.44a	0.02	0.50a	0.01	0.65b	0.02	0.76b	0.02
	71	0.47a	0.02	0.52a	0.01	0.68ab	0.05	0.79b	0.08

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	D24	EE	D30	EE	D36	EE	D42	EE
100%	14	0.98bc	0.03	1.11bc	0.04	1.27b	0.03	1.45b	0.03
	28	1.24a	0.04	1.43a	0.04	1.60a	0.04	1.90a	0.04
	71	1.14ab	0.01	1.32ab	0.05	1.56a	0.05	1.77a	0.04
50%	14	0.94bc	0.03	1.07c	0.04	1.21b	0.04	1.36bc	0.04
	28	0.86c	0.03	1.00c	0.06	1.11b	0.06	1.25bc	0.05
	71	0.87c	0.09	0.96c	0.08	1.05b	0.09	1.65c	0.09

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	D48	EE	D54	EE	D60	EE	D66	EE
100%	14	1.68b	0.03	1.91bc	0.05	2.20bc	0.08	2.46bc	0.06
	28	2.16a	0.05	2.45a	0.06	2.72a	0.08	3.01a	0.08
	71	2.00a	0.06	2.12ab	0.16	2.50ab	0.04	2.73ab	0.02
50%	14	1.52bc	0.05	1.73bcd	0.08	1.90dc	0.11	2.10cd	0.13
	28	1.39c	0.04	1.53cd	0.06	1.66d	0.07	1.79d	0.07
	71	1.29c	0.10	1.48d	0.11	1.68d	0.12	1.87d	0.14

SOLUCIÓN STEINER	DENSIDAD pl·m ⁻²	D72	EE	D78	EE	D81	EE
100%	14	2.66bc	0.03	2.70ab	0.04	2.70ab	0.04
	28	3.15a	0.04	3.20a	0.05	3.20a	0.05
	71	2.87ab	0.01	2.91a	0.01	2.91a	0.01
50%	14	2.25cd	0.06	2.29bc	0.17	2.29bc	0.17
	28	1.90d	0.04	1.98c	0.09	1.98c	0.09
	71	2.08d	0.07	2.28bc	0.19	2.28bc	0.20

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar

ANEXOS

ANEXO 1. Comparación de medias del peso fresco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m ⁻²	Peso fresco parte aérea g	EE
100%	14	354.55a	±16.05
	28	250.77ab	±22.80
	71	194.20b	±30.41
50%	14	280.33ab	±19.40
	28	205.37b	±26.43
	71	172.31b	±38.54

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 2. Comparación de medias del peso seco de la parte aérea de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m ⁻²	Peso seco parte aérea g	EE
100%	14	39.00a	±1.76
	28	27.59ab	±2.51
	71	23.30bc	±3.65
50%	14	33.64ab	±2.33
	28	24.65bc	±3.17
	71	18.96c	±4.24

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 3. Comparación de medias del peso seco de raíz de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso seco de raíz g	EE
100%	14	11.12a	±0.37
	28	9.85b	±0.14
	71	7.27c	±0.25
50%	14	9.60b	±0.25
	28	7.90c	±0.24
	71	9.63b	±0.24

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 4. Comparación de medias del número de hojas de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Número de hojas	EE
100%	14	2564a	±38.60
	28	2439b	±27.40
	71	1938c	±34.60
50%	14	1286e	±22.03
	28	2101b	±33.32
	71	1683d	±35.95

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 5. Comparación de medias del área foliar total de plantas de albahaca cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m ⁻²	Área foliar total	
		cm ²	EE
100%	14	2828.44a	±42.81
	28	2308.89b	±127.15
	71	2055.88c	±39.18
50%	14	2205.50b	±73.64
	28	1889.00d	±35.00
	71	1700.62d	±32.45

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 6. Comparación de medias de la concentración de aceites esenciales de plantas de cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m ⁻²	Concentración de aceite esencial	
		mg	EE
100%	14	11.85a	±1.19
	28	10.48a	±0.65
	71	11.07a	±0.99
50%	14	12.10a	±0.82
	28	14.03a	±0.79
	71	12.75a	±1.31

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 7. Comparación de medias de la longitud de hoja de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Longitud hoja cm	EE
100%	14	32.53a	±1.87
	28	29.63a	±1.92
	71	30.10a	±3.01
50%	14	29.15a	±2.75
	28	33.45a	±1.83
	71	33.87a	±1.82

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 8. Comparación de medias del peso fresco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso fresco parte aérea g	EE
100%	14	254.58a	±2.96
	28	221.70a	±36.95
	71	232.49a	±19.09
50%	14	273.72a	±57.15
	28	287.49a	±52.29
	71	335.14a	±66.22

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 9. Comparación de medias del peso seco de la parte aérea de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso seco parte aérea g	EE
100%	14	81.60a	±1.00
	28	70.94a	±11.83
	71	60.16a	±15.65
50%	14	80.54a	±15.89
	28	91.69a	±20.75
	71	107.24a	±21.19

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 10. Comparación de medias del peso seco de raíz de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso seco de raíz g	EE
100%	14	31.04b	±5.37
	28	24.10b	±0.87
	71	20.56b	±1.02
50%	14	53.44a	±8.77
	28	38.11ab	±3.06
	71	35.41ab	±5.25

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 11. Comparación de medias del número de hojas de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Número de hojas	EE
100%	14	2004.50a	±478.73
	28	1969.75a	±387.35
	71	2059.75a	±70.02
50%	14	3134.75a	±711.17
	28	1721.75a	±243.75
	71	1927.00a	±286.59

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 12. Comparación de medias del área foliar total de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Área foliar total Cm	EE
100%	14	2313.59ab	±191.03
	28	1814.54b	±278.48
	71	2296.13ab	±223.66
50%	14	3600.38 ^a	±364.99
	28	3354.00ab	±624.68
	71	2499.42ab	±435.97

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 13. Comparación de medias de la concentración de aceites esenciales de plantas de orégano cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Concentración de aceite esencial mg	EE
100%	14	9.00a	±0.7503
	28	8.57 ^a	±0.2780
	71	9.90 ^a	±0.3025
50%	14	10.02 ^a	±0.5265
	28	9.82 ^a	±0.5233
	71	11.22 ^a	±0.5259

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 14. Comparación de medias del peso fresco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso fresco parte aérea g	EE
100%	14	155.17ab	±22.34
	28	219.68a	±28.68
	71	207.71 ^a	±10.85
50%	14	179.49ab	±6.84
	28	181.38ab	±10.26
	71	111.18b	±8.40

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 15. Comparación de medias del peso seco de la parte aérea de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso seco parte aérea g	EE
100%	14	47.40b	±3.79
	28	64.61a	±2.92
	71	64.87a	±1.97
50%	14	55.40ab	±2.75
	28	57.18ab	±1.32
	71	34.46c	±0.55

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 16. Comparación de medias del peso seco de raíz de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Peso seco de raíz g	EE
100%	14	4.03c	±0.27
	28	7.67a	±0.26
	71	6.26b	±0.36
50%	14	6.77ab	±0.22
	28	4.35c	±0.23
	71	4.25c	±0.19

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 17. Comparación de medias del número de hojas de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Número de hojas	EE
100%	14	5733c	±121.52
	28	8711a	±224.70
	71	7080b	±103.16
50%	14	8192a	±106.68
	28	6716b	±30.87
	71	5429c	±107.92

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 18. Comparación de medias del área foliar total de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Área foliar total cm	EE
100%	14	1262.50b	±37.72
	28	1801.35a	±18.05
	71	1420.25b	±52.82
50%	14	1348.82b	±38.91
	28	1397.50b	±38.38
	71	934.57c	±22.18

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.

ANEXO 19. Comparación de medias de la concentración de aceites esenciales de plantas de tomillo cultivadas con dos soluciones nutritivas y tres densidades de siembra.

Solución Steiner	Densidad pl·m⁻²	Concentración de aceite esencial mg	EE
100%	14	11.00a	±1.28
	28	12.60a	±1.31
	71	11.55a	±0.26
50%	14	14.60a	±1.26
	28	13.65a	±1.00
	71	14.72a	±1.60

* Medias con letras diferentes presentan significancia (Tukey $\alpha = 0.05$); EE= Error estándar
Cada punto es la media de 3 repeticiones \pm error estándar.