

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



Evaluación de cantidad de biomasa y concentración de minerales, en orégano
cultivado bajo diferentes ambientes de producción

Tesis

Que presenta RUBÉN ROJAS MELÉNDEZ
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2022

Evaluación de cantidad de biomasa y concentración de minerales en orégano,
cultivado bajo diferentes ambientes de producción

Tesis

Elaborada por RUBÉN ROJAS MELÉNDEZ como requisito parcial para obtener
el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión y aprobación
del comité de Asesoría



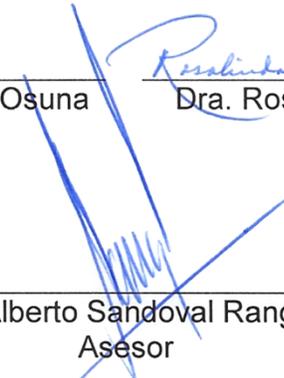
Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor Principal



Dra. Hermila Trinidad García Osuna
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Aseso



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2022

Agradecimientos

Agradezco al MUSEO DEL DESIERTO, sus directivos y personal por haberme brindado la oportunidad y el apoyo para realizar la Maestría en Ciencias y poder superarme personal y profesionalmente.

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO, por haberme brindarme la oportunidad de estudiar en una institución reconocida internacionalmente con una plantilla de personal inigualable.

A la Dra. Hermila T. García Osuna por animarme en todo momento para llevar a cabo estos estudios de postgrado.

Al Dr. Valentín Robledo Torres por dirigir de manera acertada el proceso de esta investigación, su apoyo, sus consejos, su experiencia y sobre todo su disponibilidad en apoyar en todo momento.

A la Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal. Por su colaboración y guía en el presente trabajo, por sus consejos en el laboratorio y clases impartidas.

Al Dr. Alberto Sandoval Rangel por su apoyo y consejos en el transcurso de la maestría.

Al Dr. José Rafael Paredes Jácome: por su apoyo y la orientación en el uso de los equipos de laboratorio.

Al Ing. Raúl Alejandro Ramos por su apoyo y orientación en el área de laboratorio.

A todos mis compañeros y amigos contemporáneos de la maestría: Isaac Guajardo, Jorge Kau, Xochitl Martínez, Arturo, por su gran ayuda en los momentos de más presión en lo académico y en el trabajo de campo.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a mi hijo FERNANDO RUBÉN que sirva como un ejemplo, de que con esfuerzo se puede lograr todo lo que uno se propone, también a la madre de mi hijo Lorena por cuidar de Él lo mejor posible.

A mis hermanos y sus parejas de vida, Roberto y Nora, Rosario y Javier, Leticia y Raúl, por estar siempre presentes en los momentos más difíciles de mi vida. Así como a todos mis sobrinos: Roberto, Ingrid Alejandra, Arturo y Javiercito.

A mi Papá Roberto Rojas por darme los valores del trabajo y la honradez.

A mis mejores amigas, Hermila T. García y Ana G. Bertaud por su aliento en realizar la maestría y su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros de vida Eleazar, Alejandro, Mario e Irene, Alfredo, Norma y Aarón, que son un ejemplo para mí.

A mis compañeros y amigos del Museo del Desierto: Idalia Hernández, Ramón, Edgar, Nancy Cardona, Nancy Vargas, Beatriz Valdez, Diana Valdés, Fernando Cabral, por su amistad de muchos años.

Índice General

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Fertirriego	4
Ventajas que aporta la fertirrigación	4
Biofertilizantes	5
Producción de Biomasa en Orégano	6
Efecto de bacterias en la producción de biomasa	6
Producción de biomasa y contenido de minerales en orégano en campo abierto	6
Producción de biomasa y contenido de minerales en orégano en malla sombra	8
Producción de biomasa y contenido de minerales en orégano en invernadero	9
MATERIALES Y MÉTODO	11
Ubicación del Área Experimental	11
Material Biológico	12
Análisis de Suelo y Agua	12
Establecimiento del Cultivo	12
Establecimiento del Experimento	12
Variables Agronómicas Estimadas	14
Concentración de Minerales en Hoja Seca	15

	Pág.
Procedimiento para la Obtención de la Concentración de Nitrógeno (N)	15
Procedimiento para la Obtención de la Concentración de Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)	17
Análisis Estadístico	19
IV RESULTADOS Y DISCUSIONES	20
1. Efecto del Ambiente de Cultivo y Tratamientos Sobre las Variables Agronómicas.	20
2. Efecto del Ambiente de Cultivo y Tratamientos Sobre el Contenido de Macroelementos en Hoja	28
3 Efecto del Ambiente de Cultivo y Tratamientos Sobre el Contenido de Microelementos en Hoja	33
V CONCLUSIONES	37
LITERATURA CITADA	38
ANEXOS	41
ANEXO I Estudio de fertilidad de suelo	41
ANEXO II Análisis de agua de riego	42

Índice de Cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Tratamientos resultantes de la combinación de tres niveles de nutrición química y cuatro cepas bacterianas más un testigo sin bacterias aplicadas al cultivo de orégano, en General Cepeda Coahuila.	13
Cuadro 2. Análisis de varianza realizado a variables agronómicas de <i>L. graveolens</i> bajo tres ambientes de producción.	20
Cuadro 3. Comparación de medias de variables agronómicas en los diferentes ambientes (Tukey $P \leq 0.05$).	22
Cuadro 4. Comparación de medias de los tratamientos en los ambientes de cultivo para las variables agronómicas (Tukey $P \leq 0.05$).	26
Cuadro 5. Análisis de varianza de los tratamientos en los ambientes de cultivo para la concentración de macroelementos en hoja.	28
Cuadro 6. Comparación de medias en ambientes de cultivo para la concentración de macroelementos en hoja seca (Tukey $P \leq 0.05$).	30
Cuadro 7. Comparación de medias de Tratamientos para la concentración macroelementos en hoja en los ambientes de cultivo ((Tukey $P \leq 0.05$).	32
Cuadro 8. Análisis de varianza ($P \leq 0.05$) de los tratamientos en los ambientes de cultivo para la concentración de micro elementos en hoja.	34
Cuadro 9. Comparación de medias de Ambientes de cultivo en la concentración de microelementos en hoja.	34
Cuadro 10. Comparación de medias de Tratamientos para la concentración microelementos en hoja en los ambientes de cultivo ((Tukey $P \leq 0.05$).	36

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Macrolocalización del experimento a 4 km al oriente de la cabecera municipal de General Cepeda, Coahuila	11
Figura 2. Microlocalización del experimento en el círculo se muestra el área donde se ubicó el experimento	11
Figura 3. Fotografía de un micro kjendahl LAB-CONCO 65000	16

RESUMEN

Evaluación de cantidad de biomasa y concentración de minerales en orégano,
cultivado bajo diferentes ambientes de producción

Por

RUBÉN ROJAS MELÉNDEZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES – ASESOR –

Saltillo, Coahuila

Noviembre 2022

Una de las principales actividades económicas de los pobladores de las regiones marginadas del semidesierto mexicano es la recolecta de plantas silvestres, entre ellas el orégano, el cual comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, con flores y hojas que presentan un olor característico a "especioso". La especie mexicana *Lippia graveolens*, de la familia Verbenaceae, se utiliza como condimento de alimentos, y en la elaboración de cosméticos, fármacos y licores; motivos que lo han convertido en un producto de exportación.

Al ser colectadas en la época de floración, las poblaciones naturales han disminuido por lo que esta investigación tuvo por objetivo: evaluar la producción de biomas fresca y seca del orégano, en tres ambientes de cultivo (invernadero, malla sombra y campo abierto), así como la concentración de minerales en hojas seca, con fertilización química (solución Steiner al 0%, 50% y 100%) y biológica (tres cepas de *Azospirillum* spp aisladas en el Departamento de Horticultura de la UAAAN y una cepa comercial (*Azospirillum brasilense*), en 15 tratamientos.

El mejor ambiente de cultivo resulto ser el invernadero con los más altos promedios de las variables agronómicas: diámetro de planta con 57.56 cm, peso fresco con 240.94 g, peso seco con 79.86 g, peso seco de tallo con 34.35 g y peso seco de hoja 41.26 g. Al proyectar estos resultados se alcanzan rendimientos de 2,475.6 kg/ha de hoja seca por año, con tres cortes. Para la concentración de minerales, la malla sombra resulto con mayores concentraciones en nitrógeno y potasio con 14,451.1 mg/kg y 9,108.1 mg/kg respectivamente, y el Invernadero resultó ser mejor para los demás minerales con: fósforo 4,206.95 mg/kg, calcio 17,486.5 mg/kg, magnesio con 1,741.11 mg/kg, cobre con 8.24 mg/kg y zinc con 31.49 mg/kg.

De los tratamientos, el que obtuvo los mejores resultados fue el tratamiento 3 que consistió de fertilización al 100% sin la adición de rizobacterias con promedios de altura de planta (80.78 cm), diámetro (56.76 cm), peso fresco (260.45 gr), peso seco (103.36 g), peso seco de tallo (43.36 g) y peso seco de hoja (53.45 g), con este tratamiento se pueden alcanzar un rendimientos de 3,207.48 kg/ha de hoja seca, con tres cortes por año.

PALABRAS CLAVE: *Lippia graveolens*, H. B. K., rizobacterias, minerales.

Abstract

Evaluation of the amount of biomass and mineral concentration of *Lippia graveolens*, H. B. K., under different cultivation environments.

BY

RUBÉN ROJAS MELÉNDEZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. VALENTÍN ROBLEDO TORRES – ADVISER –

Saltillo, Coahuila

November 2022

One of the main economic activities of the inhabitants of the marginalized regions semi-arid of Mexico, is the collection of wild plants, among them oregano, which comprises more than two dozen different species of plants, with flowers and leaves that present a characteristic smell to "spicy". The Mexican species *Lippia graveolens*, of the Verbenaceae family, is used as a condiment for food, and in the manufacture of cosmetics, drugs and liquors; reasons that have made it an export product.

The collected is in the flowering season, the natural populations have decreased, so this research aimed to evaluate the fresh and dry production of oregano biomass, in three growing environments (greenhouse, shade mesh and open field), thus as the concentration of minerals in dry leaves, with chemical fertilization (Steiner solution at 0%, 50% and 100%) and biological (three strains of *Azospirillum* spp isolated in the Department of Horticulture of the UAAAN and a commercial strain (*Azospirillum brasilense*), in 15 treatments.

The best growing environment was the greenhouse with the highest averages of the agronomic variables: plant diameter with 57.56 cm, fresh weight with 240.94 g, dry weight with 79.86 g, dry weight of stem with 34.35 g and dry weight of leaf 41.26. When projecting these results, yields of 2,475.6 kg / ha of dry leaf per year are reached, with three cuts. For the concentration of minerals, the shade mesh resulted with higher concentrations of nitrogen and potassium with 14,451.1 mg / kg and 9,108.1 mg / kg respectively, and the Greenhouse was better for the other minerals with: phosphorus 4,206.95 mg / kg, calcium 17,486.5 mg / kg, magnesium with 1,741.11 mg / kg, copper with 8.24 mg / kg and zinc with 31.49 mg / kg.

Of the treatments, that obtained the best results was treatment 3, which consisted of 100% fertilization without the addition of rhizobacteria with averages of plant height (80.78 cm), diameter (56.76 cm), fresh weight (260.45 gr), dry weight (103.36 g), stem dry weight (43.36 g) and leaf dry weight (53.45 g), with this treatment yields of 3.207.48 kg / ha of dry leaf can be reached, with three cuts per year.

KEY WORDS: *Lippia graveolens*, H. B. K., rhizobacteria, minerals.

INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades económicas de los pobladores de las regiones marginadas del semidesierto Mexicano y en particular de Coahuila es la recolecta de plantas silvestres, tales como la lechuguilla, candelilla, orégano y otras más, para un semiproceso y posterior comercialización. Por lo que estas especies están sometidas a una gran presión de colecta, lo que las hace susceptibles a reducir sus poblaciones naturales. En el caso del orégano, su colecta depende de la época de lluvias en la región, lo que limita a unos pocos meses su aprovechamiento; al ser un recurso con mucha demanda, es imprescindible buscar formas de cultivo que amplíe los meses de cosecha, así como sus rendimientos (Silva-Vázquez, 2012).

El nombre "orégano" comprende más de dos docenas de diferentes especies de plantas, con flores y hojas que presentan un olor característico a "especioso" (Arcila-Lozano, 2004). Las hojas secas del *Origanum vulgare*, nativo de Europa y del *Lippia graveolens*, planta nativa de México son de uso culinario. El género *Origanum* pertenece a la familia Lamiaceae, mientras que el *Lippia graveolens*, a la familia Verbenacea. La hoja del orégano se usa no solo como condimento de alimentos sino también en la elaboración de cosméticos, fármacos y licores; motivos que lo han convertido en un producto de exportación (García-Pérez, 2012).

México es el segundo productor de orégano por detrás de Turquía. El comercio del orégano mexicano se realiza principalmente con Estados Unidos, al cual se exporta alrededor del 85% de la producción nacional; el 10% va al mercado doméstico y el 5% a países europeos y asiáticos (Flores *et al.*, 2011). A pesar de que México es el segundo productor mundial de orégano, la mayoría de las especies explotadas comercialmente son silvestres y no están incluidas en los programas básicos de manejo y mejoramiento agronómico. La aceptación del orégano mexicano se explica por su calidad, expresada en su gran poder saborizante (Huerta, 1997). Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud estima que cerca del 80% de la población en el mundo usa extractos vegetales o

sus compuestos activos, para sus cuidados primarios de salud (García-Pérez, 2012).

El orégano se extrae principalmente de poblaciones naturales y su aprovechamiento coincide con la floración de la planta, alterando la formación de frutos y semillas. Además, dichas poblaciones se han reducido en superficie y densidad (López, 2014; Castillo, 2017; Villavicencio, 2018).

La mayor producción de orégano para fines comerciales es la del género *Lippia*, cuyas especies más abundantes en México son; *Lippia berlandieri* Schauer y *L. graveolens* H.B.K. Se calcula que la producción anual de orégano en México es de 4 000 toneladas. La producción se concentra en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, San Luís Potosí y Zacatecas (Huerta, 1997; Villavicencio, 2010).

Objetivo General

Estimar la producción de biomas fresca y seca del orégano, en tres ambientes de cultivo (invernadero, malla sombra y campo abierto).

Objetivos Específicos

- 1.- Evaluar del efecto de rizobacterias en la producción de biomasa del orégano, en los tres ambientes de cultivo.
- 2.- Evaluar el efecto de la fertilización química en los tres ambientes de cultivo.
- 3.- Analizar el efecto de rizobacterias en la concentración de minerales en tres ambientes de cultivo.

Hipótesis.

Al menos uno de los tratamientos aplicados a los diferentes ambientes de cultivo tiene efectos en la producción de biomasa fresca y seca.

REVISIÓN DE LITERATURA

Fertirriego

Se entiende como fertirriego a la aplicación de los nutrientes que necesita la planta junto con el agua de riego. El primer objetivo del fertirriego es poner a disposición de la planta el agua y los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, por lo tanto, se debe ajustar en función del cultivo, época del año, estado de desarrollo de la planta y el objetivo de producción. Para el correcto manejo del fertirriego es fundamental conocer las características del agua para dotar a la planta del agua necesaria para la absorción y transporte de nutrientes, y evitar la salinidad de la rizosfera y equilibrar el balance de nutrientes que permita favorecer la floración y/o la maduración de los frutos (Mazuela y De La Riva, 2013).

La técnica de fertirriego se inició, hacia el año 1930, en California (EEUU) y desde allí se extendió por el resto del mundo. En España comenzó hace unos 50 años cuando los agricultores valencianos ponían en los canales de riego sacos de yute de sulfato amónico para que el agua, al pasar a través de ellos, arrastrara el nitrógeno que el fertilizante contenía. A finales de los sesenta, con la aparición de los abonos líquidos, la fertirrigación se fue extendiendo, despegando, de forma definitiva, con la implantación del riego localizado.

Prácticamente el 80% de la superficie cultivada de hortalizas en México, utiliza ahora las técnicas de riego por goteo y fertirrigación, las cuales se pueden aplicar lo mismo en tomates, que en pimientos, pepinos, calabacitas, berenjenas, ejotes, lechugas, sandía, melón y espárrago.

Ventajas que aporta la fertirrigación

En riego localizado, las ventajas de la fertirrigación son muy importantes:

- Mayor eficiencia en el empleo de los fertilizantes, ya que se produce un incremento de las cosechas con menores dosis de abono.
- Menores pérdidas de nutrientes por lixiviación y, por tanto, hay una mejora ambiental.

- Comodidad de aplicación y ahorro de mano de obra, sobre todo si se utilizan abonos líquidos.
- Mejor y más rápida asimilación de los nutrientes, por mantenerse constante la humedad del bulbo.
- Ajuste de las dosis de nutrientes a las necesidades de la planta en cada momento de su ciclo vegetativo.
- Localización de los nutrientes a lo largo de todo el perfil del bulbo explorado por las raíces.
- Perfecta dosificación de los fertilizantes gracias a los equipos que se utilizan.
- Posibilidad de utilizar fertilizantes “a la carta”, especialmente diseñados.
- Actuación inmediata para corregir deficiencias nutricionales (Cadahía, 2005).

Biofertilizante

Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) representan una amplia variedad de bacterias del suelo, que cuando se cultivan en asociación con una planta huésped, resultan en la estimulación del crecimiento de su huésped.

Biofertilizante es un término acuñado recientemente cuya definición más común se refiere al uso de microorganismos del suelo para aumentar la disponibilidad y absorción de nutrientes minerales para las plantas. No todos los PGPR son biofertilizantes. Muchos PGPR estimulan el crecimiento de las plantas ayudando a controlar organismos patógenos (Vessey, 2003).

Las PGPR son una alternativa al uso de productos químicos para mejorar el crecimiento de las plantas en muchas aplicaciones diferentes. Los PGPR han demostrado tener un papel importante en la agricultura y la horticultura, para mejorar la productividad de los cultivos. Además, estos organismos también son útiles con fines forestales y de restauración ambiental, aunque la investigación en estas áreas es mínima. Se ha demostrado que las PGPR causan efectos positivos cuando se combinan correctamente con la planta correcta y la situación

ambiental correcta. Lo que se necesita para el futuro es una definición clara de qué rasgos bacterianos son útiles y necesarios para diferentes condiciones ambientales y plantas, de modo que se puedan seleccionar o construir cepas bacterianas óptimas. Además, sería muy útil tener una mejor comprensión de cómo las diferentes cepas bacterianas trabajan juntas para la promoción sinérgica del crecimiento de las plantas. Es necesario realizar estudios adicionales sobre la efectividad de diferentes y novedosos sistemas de administración de inoculantes, como la encapsulación en alginato. Además, sería muy útil comprender mejor los factores que facilitan la persistencia ambiental de las cepas PGPR (Lucy *et al.*, 2004).

Producción de Biomasa en Orégano

Efecto de bacterias en la producción de biomasa

Pérez, (2016) trabajó con *Origanum vulgare*, para incrementar el rendimiento del cultivo, utilizó biofertilizantes (*Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp.), bajo condiciones de invernadero. Sus evaluaciones fueron realizadas a los 90 y 180 días. Sus resultados mostraron que el tratamiento con la asociación de *Azotobacter* sp. con *Azospirillum* sp, presentó el mejor comportamiento a los 90 y 180 días en todas las variables estudiadas, como: altura de la planta con 23.72 cm y 51.79 cm; peso fresco de hoja con 11.57 g y 39.51 g, peso seco de hojas con 4.41 g y 10.57 g respectivamente; y el volumen de la raíz a los 180 días con 8.68 ml.

En este tratamiento se obtuvo un rendimiento de peso seco de hojas de 475.40 kg/ha teniendo un incremento de 12 % en el rendimiento del peso seco de hojas, por encima del testigo, sin adición de rizobacterias.

Producción de biomasa y contenido de minerales en orégano en campo abierto

Flores, (2009) estimó el potencial productivo de biomasa de la planta de orégano (*L. graveolens* HBK.) mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, en

dos localidades del municipio de El Mezquital, Dgo. El mapa de probabilidad mostró una precisión de predicción aceptable y determinó que en el área de estudio existen 6,432 ha aprovechables de orégano, de las cuales se pueden obtener 57,160.20 Kg de hoja seca. Con estos datos se puede estimar una producción de 8.9 kg/ha aproximadamente. Por su parte Osorno-Sánchez *et al.*, (2009) reportaron que el municipio de Peñamiller, Querétaro cuenta con una superficie de 797 km², en la cual, en el año de 2002 alcanzó un cosecha de 800 toneladas de hoja seca de plantas silvestres de *L. graveolens*.

Ruiz *et al.*; (2009) realizaron un estudio en la especie *Poliomintha longiflora* en la localidad de Infiernillo del municipio de Higuera, N. L. donde recolectó muestras para determinar biomasa fresca y seca. Sus resultados fueron: 66.44 kg/ha de biomasa fresca, seca de 25.60 kg/ha y de hoja seca solo 13.60 kg/ha. Además, estimó el contenido de nitrógeno en la planta, con concentraciones de 19,300 mg/kg de nitrógeno en hoja seca en promedio.

Flores *et al.*, (2011), trabajaron con *L. graveolens* de 5 años de edad, cultivada en tres niveles de riego, y obtuvo los mejores resultados en el nivel medio que consiste en riegos de dos tercios de la capacidad del campo, esto representa un menor gasto de agua de riego. En este tratamiento, el peso fresco fue de 2.2 kg y el seco de 1.3 kg en promedio por planta, que equivale a un rendimiento aproximado de 22 ton y 13 ton respectivamente por hectárea, lo que resultó en 2,640 kg/ha de materia útil, que es la hoja seca, a una densidad de 10 mil plantas por hectárea.

Villa-Castorena *et al.*, (2011), encontraron que con riegos cada 30 o 45 días se favoreció la altura de planta de *L. graveolens*, con un promedio de 90 cm a los 140 días después del trasplante. También, con esta frecuencia de riego se logró la mayor producción de biomasa seca de hoja aunque éstos Tratamientos fueron estadísticamente iguales con 50 g por planta en promedio.

Corella-Bernal y Ortega-Nieblas (2013), realizaron sus estudios con *Lippia palmeri*, donde realizaron tres cortes en el año, donde alcanzaron una altura promedio de 47 cm por planta en el primer corte, con un diámetro promedio de

planta de 35 cm; para el segundo corte, la altura promedio fue de 85 cm y 78 cm de diámetro y para el tercer corte las plantas habían alcanzado una altura de 90 cm y 85 cm de diámetro. Los rendimientos obtenidos fueron: en el primer corte se tuvo un promedio de 170 g de hoja fresca, 604 g en el segundo corte y 661 g en el tercero. El peso seco promedio de los 3 cortes fue de 56, 132 y 260 gramos de hojas secas respectivamente, con un contenido del 35% de humedad. Con un rendimiento promedio anual por planta de 448 g, con un rendimiento aproximado de 2,240 kg ha⁻¹ de hoja seca.

Antal *et al.*, (2015), determinaron la concentración en materia seca de: potasio con 15,557.3 mg/kg, calcio con 17,597.0 mg/kg, magnesio con 2,596.0 mg/kg, cobre 8.7 mg/kg y de zinc 45.3 mg/kg. Concluyeron que, en el orégano (*Origanum vulgare* L.) se encuentran presentes minerales esenciales y metales pesados, éstos últimos en concentraciones bajas, lo que no genera un peligro para la salud. Novoa, (2019) evaluó el contenido de minerales en raíz, tallo y hojas de *Origanum vulgare*. Para macroelementos obtuvo las siguientes concentraciones, en hoja: 11,200 mg/kg de calcio, 4,100 mg/kg de magnesio, 19,800 mg/kg de potasio y 3,700 mg/kg de fósforo, 8.04 mg/kg de Cobre, 1,637.94 mg/kg de hierro, 45.06 mg/kg de manganeso y 26.13 mg/kg de zinc.

Producción de biomasa y contenido de minerales en orégano cultivado en malla sombra

Murillo-Amador *et al.*; (2013) investigaron el efecto de dos sistemas de producción (campo abierto y malla sombra) en dos cultivos (*Origanum vulgare* L. y *Thymus vulgaris* L.) en la localidad del Rancho “Los Arados” en Baja California Sur. Obtuvieron diferencias significativas en las cosechas de ambos cultivos en respuesta al sistema de producción. El *Origanum* tuvo mejor desarrollo en malla sombra, con rendimientos de 162.18 g y 87.91 g de materia fresca y seca respectivamente; mientras que para campo abierto 132.80 g y 26.52 g de materia fresca y seca respectivamente. En cambio Rodríguez, (2014) Trabajó con *Poliomintha longiflora* con una densidad de 15,900 plantas por hectárea en dos sistemas de producción (cielo abierto y malla sombra), para evaluar su

productividad, midiendo las variables de altura y diámetro de copa aérea, producción de materia verde, materia seca (hojas y tallos), peso seco de hojas, durante las 4 estaciones del año. En las épocas de invierno, primavera y otoño los sistemas de producción no muestran diferencias significativas en las diferentes variables agronómicas. Solo en verano la producción en malla sombra, la producción de materia verde fue de 3,040 kg/ha, 616 kg/ha de materia seca y el peso de hoja seca fue de 447 kg/ha y fueron superiores a las de campo abierto con 665, 249 y 190 kg/ha respectivamente.

Juárez-Rosete *et al.*, (2019), trabajaron con orégano griego *Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* en un ambiente con malla sombra y en semi-hidroponía, obtuvieron; datos de 52.23 g y 7.99 g materia fresca y seca respectivamente por planta en solución Steiner al 75%. Mientras que las mejores concentraciones de minerales fueron: 34,000 mg/kg de nitrógeno, 5,100 mg/kg de fósforo y 55,700 mg/kg de potasio, en solución Steiner al 125%.

Producción de biomasa y contenido de minerales en orégano en invernadero

Dunfort y Vázquez (2005), analizaron el comportamiento de *Lippia berlandieri* en invernadero con temperatura de 22 a 24 °C y fotoperiodo de 16 h. luz y 8 h de oscuridad, sus resultados muestran que la humedad tiene una relación con el crecimiento de la planta mas no con la concentración de aceites esenciales, además observaron una producción significativa en la etapa de maduración (90 días), con riegos de 1.2 litros cada 2 semanas, obtuvieron 56.6 g de materia fresca, 28.1 g de materia seca, 8 g de tallo seco y 13.8 de hoja seca.

Valdés, (2012) trabajó con *L. graveolens* H.B.K en invernadero, donde aplicó una solución nutritiva comercial llamada Fertiplus y un tratamiento con agua natural, obtuvo un peso fresco por planta de 158.12 g y 156.87 g respectivamente, mientras que el peso seco fue de 74.6 g y 72.9 g por planta respectivamente. Por otro lado las mayores alturas de planta de *L. graveolens* a los 110 días, fueron obtenidas con la mezcla de peat moss + perlita + vermiculita [80:10:10] en bolsa

de plástico de 25 cm de altura, con un peso seco de 1.42 g (Martínez-Hernández *et al.*, 2017).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del Área Experimental

El experimento se llevó a cabo en el municipio de General Cepeda, Coahuila, a 4 km al oriente de la cabecera municipal con coordenadas: $25^{\circ}22'53.30''\text{N}$, $101^{\circ}26'55.52''\text{O}$ (Figura 1 y 2).



Figura 1. Macrolocalización del experimento a 4 km al oriente de la cabecera municipal de General Cepeda, Coahuila.



Figura 2. Microlocalización del experimento en el círculo se muestra el área donde se ubicó el experimento.

Material Biológico

- *L. graveolens* H.B.K.
- Tres cepas de *Azospirillum* spp. las cuales fueron aisladas en el Departamento de Horticultura de la UAAAN.
- *Azospirillum brasilense* T. K. D.

Análisis de Suelo y Agua

Se realizó un análisis del suelo de la parcela donde se llevó a cabo el experimento, así como del agua del pozo que se utilizó para riego, ambos por separado. Los análisis que se determinaron fueron: CE a 25°C, pH, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na); potasio (K), carbonato (CO₃), bicarbonato (HCO₃), cloro (Cl), sulfato (SO₄), nitrato (NO₃), materia orgánica (MO); para conocer los aportes de cada uno, los cuales se descontó de la concentración de la solución Steiner que se utilizó en el fertirriego (ver ANEXO I).

Establecimiento de Cultivo

El cultivo se estableció entre el 21 y 28 de febrero de 2019, a partir de plantas trasplantadas de una plantación comercial del ejido El Amparo, Parras de la Fuente, Coahuila. Las cuales se transportaron en bolsas de polietileno color negro con suelo de la misma parcela donde se colectaron. Se seleccionaron plantas que tuvieran una altura de entre 20 y 25 cm, las cuales se regaban una vez por semana.

Establecimiento del Experimento:

Se llevó a cabo una poda de la parte aérea a 25 cm de la superficie del suelo, para que al inicio del experimento todas las plantas tuvieran la misma altura al momento de aplicar los tratamientos.

Se probaron tres ambientes (invernadero, malla sombra y campo abierto) para evaluar la respuesta del cultivo.

En cada ambiente se probaron tres concentraciones de solución Steiner ajustada (0, 50 y 100%, descontando los aportes de suelo y agua, los riegos se efectuaron

una vez por semana) y cuatro cepas de *Azospirillum spp* (tres aisladas en el Departamento de Horticultura de la UAAAN A1, A2 y A3, además una cepa comercial (CC) que fue *Azospirillum brasilense*), la combinación de niveles de nutrición química y tratamientos de cepas, dieron origen a un factorial 3 x 5, formándose los 15 tratamientos que fueron estudiados en cada uno de los ambientes antes mencionados, los tratamientos se indican en el cuadro 1.

A cada planta se le agregaron 20 ml de una solución de rizobacterias a una concentración de 10^{-6} unidades formadoras de colonias, cada 30 días en la base del tallo principal, con jeringas de 20 ml.

Cuadro 1. Tratamientos resultantes de la combinación de tres niveles de nutrición química y cuatro cepas bacterianas más un testigo sin bacterias aplicadas al cultivo de orégano, en General Cepeda Coahuila.

Solución Steiner	Cepas bacterianas estudiadas				
	Testigo (T) sin <i>Azospirillum</i>	A1	A2	A3	CC
0 (S0)	T1 = S0T	T4 = S0A1	T7 = S0A2	T10 = S0A3	T13 = S0CC
50 (S50)	T2 = S50T	T5 = S50A1	T8 = S50A2	T11 = S50A3	T14 = S50CC
100 (S100)	T3 = S100T	T6 = S100A1	T9 = S100A2	T12 = S100A3	T15 = S100CC

En cada ambiente de producción se establecieron los 15 tratamientos, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones y como parcela útil se consideraron tres individuos, tomando datos de 135 plantas por ambiente.

Variables Agronómicas Estimadas:

1.- Altura de la planta (ADP).

Se midió con una cinta métrica, a partir de la base en el suelo hasta la parte más alta de la planta (cm) en su posición natural.

2.-Diámetro de planta (DDP).

Se midió con una cinta métrica el dosel de la planta (cm) tomando un promedio entre la parte de mayor diámetro y la de menor diámetro del dosel de la planta.

Se cosecho la parte aérea de las planta a 25 cm del suelo hacia arriba para obtener los siguientes datos:

3.-Peso fresco (PFP).

Al momento del corte se pesó la muestra (gr) con ayuda de una balanza granataria marca Sigma con .01 g de precisión.

4.-Peso seco (PSP).

La muestra se colocó en bolsas de papel estraza y se guardaron en un invernadero a temperaturas de hasta 40° C. después del quinto día se pesaron (gr) diariamente en una balanza granataria marca Sigma, hasta no tener variación en el peso.

5.-Peso seco de tallo (PST)

Se separó manualmente el tallo de las hojas. Y se pesó (gr) en una balanza granataria marca Sigma.

6.-Peso seco de hojas (PSH)

Se separó manualmente las hojas del tallo. Y se pesó (gr) en una balanza granataria marca Sigma.

Estas seis mediciones de datos se tomaron para cada planta

Concentración de Minerales en Hoja Seca

Los análisis para la obtención de la concentración de los minerales en hoja se realizó en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos y Análisis Mineral, del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con las técnicas que se describen a continuación:

Procedimiento para la Obtención de la Concentración de Nitrógeno (N)

Para determinar la concentración de este elemento se requirió la preparación de una solución llamada digestora, la cual consiste en:

Solución 1. 100 ml de solución saturada de sulfato de cobre. Y en esta solución se disuelven 10 gr de selenito de sodio.

Por otra parte se disuelven 75 gr de sulfato de potasio (K_2SO_4) en tres litros de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado y se le agregan 75 ml de la solución 1, posteriormente se agregan 30 gr de óxido de mercurio.

Preparación de la muestra: para la determinación de la concentración de nitrógeno en hoja se tomaron 0.05 gr de muestra seca y molida, se colocaron en un crisol y se agregaron 5 ml de la solución digestora, posteriormente se calentó en una estufa eléctrica a una temperatura de $400^{\circ}C$ hasta obtener un color verde limón, posteriormente se deja enfriar para procesarlas en el micro kjendahl LAB-CONCO 65000 (Figura 3).

Destilado de la muestra en el micro kjendahl:

Se colocó en el tubo de salida un vaso de precipitado con 30 ml de ácido bórico al 2% con tres gotas de indicador (Solución de color rosado). El indicador consta de 0.05 gr de rojo de metilo y 0.1 gr de verde de bromocresol, disueltos en 100 ml de alcohol al 95 %

Se le agregó la muestra al aparato de destilación, inmediatamente después se agregó al depósito superior, hidróxido de sodio al 50% con 0.1 gr de fenofaleina, gradualmente se abrió la válvula para que al mezclar con la muestra virara de incoloro a un tono rosa. Y destilar hasta obtener 60 ml de sustancia final de color verde (30 ml de Ac. bórico al 2% y 30 ml del destilado).



Figura 3. Fotografía de un micro kjendahl LAB-CONCO 65000

A la muestra obtenida (60 ml), se le agregaron gotas de ácido sulfúrico al 0.025 N con una micro pipeta (Bio Pette Plus), hasta obtener un color rosa y de esta manera obtener un volumen de ácido sulfúrico utilizado y sustituirlo en la fórmula y así obtener el porcentaje (%) de nitrógeno y hacer la conversión a mg/kg.

Fórmula para obtener por ciento de Nitrógeno:

$$\% \text{ de } N = \frac{(ml \text{ H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados} - ml \text{ H}_2\text{SO}_4 \text{ blanco}) * N * 0.014 * 100}{\text{Peso muestra}}$$

Procedimiento para la Obtención de la Concentración de Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)

Para estimar la concentración de los seis minerales en hoja, se colocaron las muestras en estufa de secado para una completa deshidratación, hasta obtener un peso contante.

En un crisol se agregaron 0.5 gr de muestra previamente incinerada, esto con el fin de que el hollín que desprende la muestra no se acumulará en la mufla. Una vez carbonizada la muestra se puso en una mufla Lindberg/Blue, serie BF51841, Marca Thermo Scientific a una temperatura de 200°C por dos horas, después se aumentó la temperatura a 400°C por otras dos horas y después a 600°C también por dos horas, posteriormente se dejó enfriar para manejar la muestra. Y se obtuvo el peso de la ceniza.

A la ceniza obtenida se agregó 5 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 20% posteriormente se filtró la muestra y se aforó a 50 ml con agua desionizada. A estos 50 ml de solución se le denominó **Solución Madre** de la cual se tomaron muestras para estimar las concentraciones de los siguientes minerales en hoja:

- Fósforo (P)
- Potasio (K)
- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Cobre (Cu)
- Zinc (Zn).

A continuación, se describe el procedimiento para conocer la concentración de cada mineral.

Fósforo (P)

Para estimar la concentración de P se tomó 1 ml de la solución madre y se colocó en un tubo de ensaye, al cual se le agregaron 5 ml de molibdato de amonio y 2 ml de aminonaftolsulfónico (ANSA), una vez agregadas las dos soluciones se

agitó en el Vórtex, durante 5 segundos para obtener una mezcla homogénea. Se dejaron reposar por 20 min y después se pasaron a las celdas del espectrómetro XplorAA Dual con longitud de onda de 520 nm, y se tomó la lectura correspondiente.

Para la determinación de la concentración de los demás minerales se utilizó un espectrómetro XplorAA Dual de la marca GBC Scientific Equipment, el cual reporta lecturas en mg/ml y se utilizó la siguiente fórmula para su conversión a mg/kg:

$$\text{mg/kg} = (X \cdot 50 \cdot 1) / 0.5$$

X= el resultado del espectrómetro (mg/ml).

50= aforo de la muestra

1= dilución.

0.5= peso de la muestra en gr.

Potasio (K)

Para la determinación de la concentración de este mineral se hizo una curva de calibración con tres estándares con concentraciones conocidas de: 100, 200 y 300 ppm. Utilizando una lámpara de longitud de onda de 404.40 nm.

Para la lectura de la concentración de la muestra se tomó directo de la solución madre.

Calcio (Ca) y Magnesio (Mg)

Para estos dos minerales se hicieron curvas de calibración de concentraciones conocidas al 1, 2 y 3 ppm. La lámpara utilizada para sus lecturas fueron de una longitud de onda de 422.70 y 202.60 nm respectivamente.

La solución madre se diluyó de 1 a 100 para la lectura de estos minerales. Para ello se procedió a tomar 100 microlitros de la solución madre y aforado a 10 ml con agua desionizada, de la cual se hizo la lectura en espectrómetro.

Cobre (Cu)

Para estimar la concentración de este mineral se realizaron tres estándares que fueron al 1, 2 y 3 ppm, para las lecturas se utilizó lámpara de longitud de onda de 324.70 nm.

Zinc (Zn)

Para determinar la concentración de este mineral se realizaron tres estándares de concentraciones conocidas a 0.5, 1 y 1.5 ppm. Después de procedió a colocar cada muestra al espectrómetro con lámpara de longitud de onda de 213.90 nm.

Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, el análisis de varianza (ANVA) fue realizado en cada variable y para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), mediante el programa estadístico SAS.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Efecto del Ambiente de Cultivo y Tratamientos Sobre las Variables Agronómicas

El análisis de varianza muestra diferencias significativas entre ambientes, indicando que el ambiente de producción afectó significativamente ($P \leq 0.01$) a las variables agronómicas estudiadas en *L. graveolens* indicando que el ambiente afectó la producción de biomasa de manera diferencial (Cuadro 2). También se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos en todas las variables agronómicas estudiadas indicando que por lo menos un tratamiento afectó de forma diferente al comportamiento de las variables agronómicas citadas. Además se observaron interacciones entre ambiente por tratamiento indicando que las variables se comportaron de forma diferente en función del tratamiento y el ambiente de producción (Cuadro 2). Dado que se observaron diferencias significativas entre ambientes, tratamientos e interacciones de ambientes por tratamientos, se procedió a realizar una comparación de medias mediante la prueba de Tukey, para determinar qué ambiente, que tratamiento y que interacción fue la que indujo el mejor comportamiento de las variables agronómicas estudiadas.

Cuadro 2.- Análisis de varianza realizado a variables agronómicas de *L. graveolens* bajo tres ambientes de producción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios					
		ADP	DDP	PFP	PSP	PST.	PSH.
Amb	2	5427.53136 **	2532.877316 **	190768.2427 **	6122.28712 **	2002.58432 **	1147.56379 **
Rep(Amb)	6	127.29198 **	80.110916 **	1756.0937 NS	367.73784 NS	88.0881 NS	66.09242 NS
Trat	14	158.65082 **	97.100963 **	13393.2432 *	1901.86424 **	375.82159 **	500.69124 **
Amb*Trat	28	200.87335 **	84.138268 **	16951.075 **	1984.73275 **	512.97482 *	492.06247 **
Error	56	79.34987368	42.36997852	5681.007823	721.9678208	160.5921668	177.9168667

ns, *, ** = no significativo, significativo con $p \leq 0.05$ y significativo con $p \leq 0.01$.

Las plantas de orégano desarrolladas bajo malla sombra (84.53 cm) fueron significativamente ($p \leq 0.05$) más altas que las obtenidas a campo abierto, a las cuales superaron en 35% y las obtenidas en invernadero en 16.4%. Las plantas con una malla sombra con 30% de reducción en la transmisión de la radiación solar, favoreció una mayor altura de planta, sin embargo, las desarrolladas en invernadero presentaron mayor cobertura o dosel de la planta, superando significativamente ($p \leq 0.05$) a las desarrolladas en campo abierto con 35.2% y a las desarrolladas bajo malla sombra a las cuales superaron en 15.39%, es importante señalar que durante el día se presentaron temperaturas superiores en invernadero que en campo abierto o malla sombra, de lo cual se infiere que la temperatura favoreció un mejor desarrollo vegetativo (Cuadro 3).

El peso fresco de las plantas obtenidas de invernadero supero significativamente ($p \leq 0.05$) a los pesos obtenidos en campo abierto o malla sombra, cuyos pesos fueron iguales. El peso fresco obtenido en invernadero supero en 110.8% al peso fresco obtenido de plantas desarrolladas en campo abierto y en 59.1% a las desarrolladas bajo malla sombra A partir del peso fresco se obtuvo el peso seco, donde no hubo diferencia significativa entre lo observado bajo invernadero y malla sombra con 79.868 g y 71.142 g respectivamente (Cuadro 3).

En peso seco de tallo obtenido de plantas desarrolladas en invernadero exhibieron 34.35 g y en malla sombra 30.13 g y fueron significativamente iguales, aunque el primero supero significativamente en 61.4% al peso seco de tallo de plantas obtenidas en campo abierto. Pero en la parte útil o comercializable si existió diferencia significativa entre los tres ambientes, el invernadero muestra un mayor promedio de peso seco de hoja con 41.26 g, superando en 32.4% al peso seco de hoja registrado en campo abierto, que solo fue de 31.16 g (Cuadro 3).

Cuadro 3.- Comparación de medias de variables agronómicas en los diferentes ambientes (Tukey $P \leq 0.05$)

Ambiente	ADP (cm)	DDP (cm)	PFP (g)	PSP (g)	PST (g)	PSH (g)
Campo Abierto	62.59 C	42.56 C	114.29 B	56.769 B	21.285 B	31.163 B
Malla Sombra	84.53 A	49.91 B	151.39 B	71.142 A	30.138 A	36.130 AB
Invernadero	72.59 B	57.56 A	240.94 A	79.868 A	34.356 A	41.263 A

Medias con letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$).

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten afirmar que la producción de orégano bajo condiciones de invernadero puede elevar la producción de hoja seca en un 32% por encima de la producción en condiciones de campo abierto. Por lo que se pueden obtener rendimientos en una plantación de 20 mil plantas por hectárea, 823.2 kg por corte, en plantas con menos de 1 año de edad.

Los valores obtenidos en estos tres ambientes de cultivo están por debajo de los obtenidos por Corella-Bernal y Ortega-Nieblas (2013) en un cultivo de campo abierto, donde obtuvieron 132 g de hojas con un 35 % de humedad, mientras que en este estudio los pesos secos se tomaron hasta que las muestras presentaban peso constante, lo cual indica que ya no tenían humedad. Otro factor que afecta la producción total, es la densidad de la plantación, ya que con 5,000 plantas por hectárea, en tres cortes se obtuvo un rendimiento de 2,240 kg de hoja seca. En este experimento con 20,000 plantas por hectárea y tres cortes se obtuvo un rendimiento estimado de 2,475.6 kg de hojas seca, mostrando que la densidad afecta el rendimiento por planta, aunque éste se compensa con el número mayor de plantas por hectárea.

La producción obtenida por Dunfort y Vázquez (2005) en invernadero fue de 56.6 g de materia fresca, 28.1 g de materia seca, 8 g de tallo seco y 13.8 de hoja seca, rendimientos inferiores en comparación con los obtenidos en este trabajo de investigación. Aunque Osorno-Sánchez *et al;* (2009), en su estudio de campo, cuantifico una producción promedio de una tonelada por km^2 por año de hoja seca de *L. graveolens*, en el municipio de Peñamiller, Querétaro, rendimiento muy inferior al obtenido en éste trabajo de investigación. Mientras Ruiz *et al;*

(2009) en plantas silvestres de *Poliomintha longiflora* de la localidad de Infiernillo en Nuevo León, obtuvieron 13.60 kg/ha; por otro lado Flores (2009), en plantas silvestres de *L. graveolens* estimó una producción de 8.9 kg/ha de hoja seca, lo anterior contrasta con el rendimiento obtenido bajo condiciones de invernadero, ya que en una sola hectárea se podrían alcanzar rendimientos de 2,475.6 kg de hojas seca, en tres cortes por año, lo anterior en base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Villa-Castorena *et al.*, (2011) en campo abierto, a los 140 días después de haber trasplantado obtuvieron plantas con una altura de 90 cm y rendimiento de 50 g por planta, mientras que a los 60 días después del trasplante y con riegos semanales, en este experimento la altura fue de 62.59 cm y el peso seco de hoja por planta fue de 31.16 g, la mayor altura y mayor rendimiento en el experimento de Villa-Castorena y colaboradores, se puede atribuir a la diferencia en los días a cosecha entre ambos trabajos.

Flores *et al.*; (2011), obtuvieron mejores rendimientos en cultivo a campo abierto, en plantas de 5 años con 22 ton de peso fresco y 13 ton de peso seco, lo que les dio una producción promedio de 2,640 kg/ha de materia útil, estos resultados son similares con 2,475.60 kg estimados de hoja seca en producida en invernadero. Por su parte Valdés (2012), en su trabajo en invernadero obtuvo rendimientos de 158.12 g por planta en peso fresco y 74.6 g de peso seco por planta con el uso de una solución nutritiva comercial llamada Fertiplus.

Los resultados de Murillo-Amador *et al.*, (2013) concuerdan con los obtenidos en la presente investigación, donde la malla sombra tiene una mayor producción que en campo abierto.

Los resultados obtenidos por Rodríguez-Salinas (2014), indican que la producción de materia fresca fue de 191.10 g por planta bajo malla sombra, contra 151.39 g por planta en malla sombra de este experimento, pero la producción en invernadero fue de 240.94 g. En cuanto a la producción de hoja seca Rodríguez-Salinas (2014) obtuvo 11.90 g por planta mientras que en este experimento fue de 36.13 g por planta, lo antes expuesto indica que el ambiente de producción si influye en el rendimiento de materia fresca y seca de orégano.

Martínez-Hernández *et al*; (2017) utilizó diferentes sustratos para germinar y crecer plantas de *L. graveolens* y reportan rendimientos de 1.42 g de peso seco, muy por abajo de los obtenidos bajo invernadero en este trabajo.

Dado que se observaron diferencias significativas entre tratamientos para todas las variables agronómicas bajo estudio, se procedió a realizar una comparación de medias, para determinar que tratamiento influyo significativamente en las variables agronómicas.

El análisis realizado muestra que los Tratamientos 3 y 10 fueron los que presentaron la mayor altura de planta con 80.78 y 78.39 cm respectivamente y fueron significativamente iguales al resto de los tratamientos, excepto al tratamiento 8 (63.25cm) al cual superaron significativamente en 27.7 y 23.9% respectivamente (Cuadro 4). El tratamiento 3 fue sin bacterias con 100% de la solución Steiner por lo que se le puede atribuir a la fertilización química, la mayor altura de planta, sin embargo el tratamiento 10 fue con la cepa A3 sin fertilización por lo que la respuesta se le atribuye a acción de la rizobacteria.

Los Tratamientos 3 y 4 con 56.76 y 56.04 cm respectivamente, exhibieron el mayor diámetro del dosel de planta y fueron significativamente superiores al tratamiento 8, al cual superaron en 27.52 y 25.90% respectivamente y fueron iguales a los tratamientos restantes. En ambas variables (altura y diámetro) quedaron un poco por debajo de las obtenidas por Corella Bernal y Ortega-Nieblas (2013), en su segundo corte con 85 y 78 cm de altura y diámetro respectivamente, con solo riegos auxiliares.

El Tratamiento 3 fue el que tuvo el mayor valor en ambas variables y solo se aplicó la solución de Steiner al 100% sin la adición de rizobacterias ahorrándose la inoculación.

El Tratamiento 3 fue el que exhibió el mayor peso fresco de la planta con 260.45 g y fue significativamente superior que los tratamientos 2, 8 y 15 a los cuales supero en 126.5, 115.9 y 104.3% respectivamente. Por lo que para una mejor producción de biomasa fresca se considera solo agregar la solución de Steiner al 100 %, ya que en los demás tratamientos con rizobacterias presentaron una

producción menor, aunque es importante señalar que el tratamiento 3 fue estadísticamente igual a 11 tratamientos, y supero en 20% al segundo tratamientos con el rendimiento más alto de peso fresco (Cuadro 4).

El tratamiento 3 también fue el que presento el mayor peso seco de la planta con 103.36 g siendo significativamente superior que los tratamientos 2, 8, 12 y 15, a los cuales supero en 108.3%, 92.4%, 84.4% y 93.08%. El Tratamiento 3 sin rizobacterias, pero con 100% de fertilización química sigue siendo el de mayor productividad, aunque fue significativamente igual a 10 tratamientos más, supero en 14.9% al segundo mejor tratamiento que solo recibió rizobacterias, lo cual es importante ya que se podría utilizar, como una alternativa más económica y más amigable con el ambiente.

En el peso seco de tallo, el Tratamiento 3 con 43.36 g fue significativamente mayor a los tratamientos 2, 8 y 15, a los cuales supro en 117.4%, 143.6% y 93.1% respectivamente. Aunque fue significativamente igual a 11 tratamientos (Cuadro 4), lo cual indica que el uso de rizobacterias puede ser una alternativa viable de nutrición ya que el segundo mejor tratamiento fue el tratamiento 11, que solo recibió 50% de nutrición química y la rizobacteria A₃.

El peso seco de hoja es la variable agronómica más importante de este trabajo, ya que es la parte comercial. Fue el tratamiento 3 que tuvo el mayor peso con 53.45 g resulto ser significativamente superior a los tratamientos 2, 7, 8, 12 y 15 a los cuales supero en 100.8%, 70.6%, 86.1%, 88.5% y 78.8% respectivamente, siendo significativamente igual a 9 tratamientos (Cuadro 4), superando en 17.8% al segundo mejor tratamiento el cual solo recibió la rizobacteria A₁ sin nutrición química. En el Tratamiento 3 se alcanzaría una producción de 1,069.16 kg por hectárea de hoja seca con una densidad de 20 mil plantas por hectárea, mientras que en el segundo mejor tratamiento se podrían obtener 907 Kg, con la misma densidad de población, con un solo corte, lo anterior muestra una diferencia de 162 Kg, aunque se tiene la ventaja de que el uso de rizobacterias en la nutrición vegetal es más económico y menos perjudicial al ambiente.

Cuadro 4.- Comparación de medias de los tratamientos en los ambientes de cultivo para las variables agronómicas (Tukey $P \leq 0.05$).

Trat	ADP (cm)	DDP (cm)	PFP (g)	PSP (g)	PST (g)	PSH (g)
1	70.98 A B	50.32 A B	161.26 A B	70.49 A B	29.41 A B	37.596 A B
2	70.67 A B	46.40 A B	114.96 B	49.62	19.94 B	26.62 B
3	80.78 A	56.76 A	260.45 A	103.36 A	43.36 A	53.45 A
4	77.51 A B	56.04 A	216.9 A B	89.95 A B	33.00 A B	45.35 A B
5	72.37 A B	50.85 A B	158.57 A B	68.86 A B	28.27 A B	36.83 A B
6	73.47 A B	50.34 A B	180.12 A B	66.46 A B	27.61 A B	32.74 A B
7	72.70 A B	49.11 A B	142.68 A B	60.98 A B	24.55 A B	31.33 B
8	63.25 B	44.51 B	120.62 B	53.71 B	17.80 B	28.72 B
9	73.63 A B	51.11 A B	194.41 A B	74.35 A B	31.47 A B	37.32 A B
10	78.39 A	47.93 A B	168.9 A B	71.14 A B	31.40 A B	37.27 A B
11	74.58 A B	50.69 A B	193.29 A B	80.16 A B	34.87 A B	44.32 A B
12	73.33 A B	50.44 A B	143.65 A B	56.06 B	23.67 A B	28.35 B
13	75.74 A B	48.49 A B	163.47 A B	63.37 A B	28.01 A B	31.88 A B
14	72.859 A B	51 A B	186.32 A B	76.87 A B	33.018 A B	41.039 A B
15	68.322 A B	46.178 A B	127.51 B	53.53 B	22.452 B	29.893 B

Medias en la misma columna con letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$).

El Tratamiento 3 con la aplicación de la solución de Steiner al 100% y el tratamiento 4 con la rizobacteria A₁, se consideran los mejores tratamientos, ya que indujeron respuestas significativamente iguales en todos los tratamientos, a diferencia de Pérez (2016), donde sus mejores tratamientos fueron con la combinación de dos rizobacterias (*Azotobacter* sp. y *Azospirillum* sp.). También el Tratamiento 4 se acerca en los valores de diámetro y producción de peso seco de hoja al tratamiento 3 y se considera un buen tratamiento ya que no usa fertilización química solo la Cepa A₁, lo que pudiera representar un ahorro económico y menores afectaciones al ambiente.

Los resultados de Dunfort y Vázquez (2005) en invernadero quedaron por debajo de los valores observados en éste trabajo, El obtuvo 56.6 g de materia fresca, 28.1 g de materia seca, 8 g de tallo seco y 13.8 de hoja seca, donde los riegos que se les aplicaron no contenían fertilizantes, a diferencia del tratamiento 3 de este experimento que fue superior. Esto se explica básicamente a la fertilización al 100% de la solución Steiner. Mientras que Corella Bernal y Ortega-Nieblas (2013), en las variables de peso fresco y seco, obtuvieron valores superiores a los logrados con los tratamientos de este experimento, aun y con la utilización de fertilización química y biológica en forma combinada. En su experimento obtuvieron una producción de 2,240 kg de hoja seca con 5,000 plantas por hectárea, mientras que con el mejor tratamiento de este trabajo se pudieron obtener 2,595.6 kg de hoja seca en tres cortes al año con 20,000 plantas por hectárea, un factor de diferencia en ambos experimentos es el número y la cantidad de riego lo que pudiera afectar los rendimientos. Mientras que Juárez-Rosete *et al.*, (2019) obtuvieron un producción de materia fresca de 52.23 g y materia seca de 7.99 g en promedio por planta, al aplicar solución Steiner al 75%, a diferencia de este trabajo, quedaron por debajo del tratamiento 3, donde el peso fresco fue 4.5 veces mayor y el peso seco 13 veces mayor donde se utilizó 100% de fertilización. Estas diferencias pudieran estar dadas por la edad de la planta.

2. Efecto del Ambiente de Cultivo y Tratamientos Sobre el Contenido de Macroelementos en Hoja.

El análisis de varianza aplicado al contenido de minerales en hojas de orégano mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes, lo que indica que la concentración de macroelementos en hoja si es afectada por el ambiente de cultivo (Cuadro 5). También se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos para todos los elementos minerales estudiados en hoja de orégano, indicando que por lo menos un tratamiento afecto de forma significativa el contenido de minerales. Igualmente se encontraron diferencias significativas en la interacción ambientes por tratamiento, indicando que el contenido de minerales fue afectado de forma diferencial por el ambiente de producción (Cuadro 5)

Cuadro 5.- Análisis de varianza de los tratamientos en los ambientes de cultivo para la concentración de macroelementos en hoja.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios				
		N	P	K	Ca	Mg
Amb	2	164741629.6 **	31404274.27 **	164741629.6 **	400981256.8 **	1060405.185**
Rep(Amb)	6	9364444.4 *	83518 *	9364444.4 *	13590034.6 *	102980 *
Trat	14	17343407.4 **	1059131.71 **	17343407.4 **	52239410.6 **	168842.328 *
Amb*Trat	28	21801629.6 **	453441.27 **	21801629.6 **	28538046.5 **	217560.741 *
Error	56	6516678.386	45458.7587	6516678.386	9177872.667	95103.60404

** = Ambientes con diferencias significativas

Por lo que se procedió a hacer pruebas de Tukey para determinar cuál ambiente favorece la concentración de cada macroelemento en hoja.

La comparación de medias de los ambientes de cultivo muestra que la concentración de Nitrógeno (N) en hoja fue significativamente mayor en malla sombra con 14,451.10 mg/kg, y con menor concentración en invernadero con 10,624.40 mg/kg (Cuadro 6), por lo que podemos inferir que el calor dentro del invernadero fue un factor importante en la concentración del N en las hojas de la planta contrario a lo reportado por Nkansah *e Ito* (1995), en plantas de tomate que menciona que a temperaturas elevadas del aire, es mayor la absorción de

nitrógeno. Por otro lado, Ruiz *et al;* (2009) encontró concentraciones superiores de nitrógeno en plantas silvestres de *Poliomintha longiflora*, con concentraciones de 19,300 mg/kg, a diferencia de los datos obtenidos en malla sombra de este experimento.

La concentración de fósforo estimada en plantas de invernadero (4,206.96 gr/kg de hojas secas) fue significativamente superior a las observadas en la malla sombra (2,538.73 mg/kg en hoja seca) o en campo abierto (3293.05 gr/kg de hojas secas), a las cuales supero en 65.7% y 27.7% respectivamente, concordando con Nkansah e Ito (1995), que menciona que el fósforo se absorbe en mayor cantidad en temperaturas mayores. Mientras que la concentración de potasio estimada en plantas desarrolladas bajo malla sombra (9,108.10 mg/kg de hoja seca) fu significativamente superior a la estimada en invernadero y campo abierto, superando a la primera en 12.26% y en 9.9% a la segunda, sin embargo éstas dos fueron iguales significativamente.

La mayor concentración de calcio fue encontrada en plantas desarrolladas en invernadero, registrando 17,486.50 mg/kg de hojas seca, esta cantidad fue superior a la encontrada en plantas cosechadas en malla sombra (11,545.30 mg/kg) o campo abierto (14,007.10 mg/kg), la cantidad de calcio encontrada en hojas de plantas de invernadero superaron en 51.4% y 24.8% a las hojas de plantas obtenidas de malla sombra o campo abierto respectivamente. Indicando la importancia del ambiente de producción en la concentración de éste importante elemento en plantas de orégano. Como lo menciona Nkansah e Ito (1995), que señala que las temperaturas mayores favorecen la absorción de calcio.

La concentración de magnesio observada en plantas de invernadero fue significativamente mayor con 1,741.11 mg/kg, superando en 12.6% a la concentración estimada en plantas desarrolladas en campo abierto que tuvieron 1,546.22, mientras que la concentración estimada en plantas desarrolladas en malla sombra alcanzaron 1,438.22 mg/kg de hoja respectivamente (Cuadro 5). Al existir mayor concentración de magnesio en hoja, y al ser el elemento central en la molécula de clorofila pudiera ser el responsable de la mayor producción en invernadero (Cuadro 6).

Antal *et al*; (2015), en biomasa seca de plantas de campo de *Origanum vulgare*, obtuvieron concentraciones más elevadas de potasio y magnesio, mientras que en calcio las concentraciones fueron menores a los encontrados en este estudio. Estas diferencias pudieran ser debidas a la especie, así como al tipo de suelo de la región de origen y condiciones de cultivo.

Cuadro 6.- Comparación de medias en ambientes de cultivo para la concentración de macroelementos en hoja seca (Tukey $P \leq 0.05$).

Ambiente	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
Campo Abierto	12522.20 B	3293.05 B	8283.60 B	14007.10 B	1546.22 B
Malla Sombra	14451.10 A	2538.73 C	9108.10 A	11545.30 C	1438.22 B
Invernadero	10624.40 C	4206.96 A	8113.30 B	17486.50 A	1741.11 A

Medias con letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$).

Dado que se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos para todos los macro elementos estudiados en hojas de orégano. Se procedió a realizar la comparación de medias entre tratamientos, para cada elemento estimado mediante la prueba de Tukey.

En la comparación de medias de los tratamientos, la concentración de Nitrógeno en el Tratamiento 3 (sin rizobacterias + fertilización al 100%) con 15,011 mg/kg solo es significativamente mayor al tratamiento 9, que presentó 10,033 mg/kg (Cuadro 7). En ambos tratamientos la fertilización fue al 100%, la diferencia de tratamiento 9 fue la adición de la cepa M2, la cual podemos deducir que no ayudo a incrementar la concentración de Nitrógeno en la hoja de la planta, aunque el tratamiento sin fertilización química también fue significativamente igual al tratamiento 3, lo cual indica que la aplicación de fertilización química no incrementa la concentración de éste elemento en hoja, al menos bajo condiciones similares a las utilizadas para en este experimento. Juárez-Rosete *et al*; (2019) obtuvieron concentraciones mayores a 34,000 mg/kg en *Origanum vulgare* L. sp. Hirtum, la diferencia pudiera ser atribuirse a la solución con la que regaron, que fue de solución Steiner al 125%.

El tratamiento 12 mostró la mayor concentración de fósforo (cepa M3 + fertilización al 100%) con 3,794.3 mg/kg, aunque fue significativamente igual a los tratamientos 8, 9, 10, 11, 14 y 15, de lo anterior se infiere que las procedencias de las cepas utilizadas fue más importante que los niveles de nutrición química, para lograr mayor concentración de fósforo en hojas de orégano. La mayor concentración de fosforo observada es similar a lo reportado por Novoa (2019), en hojas de *Origanum vulgare*, quien obtuvo concentraciones de 3,700 mg/kg. A diferencia de Juárez-Rosete *et al;* (2019) que reportaron concentraciones mayores a 5,100 mg/kg. Raffi y Charyulu (2021), mencionan que la aplicación de cepas de *Azospirillum* ayuda a la solubilización del fósforo y facilitar la adsorción por la planta. Lo que reafirma que el T 1 (testigo) al no tener cepas ni fertilización fue el tratamiento con menor concentración de este elemento, lo que indica la importancia de la aplicación de rizobacterias y la fertilización para incrementar la concentración de este elemento.

El Tratamiento 2 exhibió la mayor concentración de potasio en hojas de orégano (sin rizobacterias + fertilización al 50%) con 9,506.5 mg/kg fue significativamente mayor a los tratamientos 3, 4, 7, 8, y 10, a los cuales superó en 33.94%, 25.37%, 15.1%, 14.03%, 25.2% respectivamente. En los dos tratamientos con más altas concentraciones de potasio en hoja, se encontró que la fertilización fue solo del 50% por lo que con una mayor concentración de fertilización, disminuyó la concentración de este macroelemento, por su parte Novoa (2019), obtuvo el doble de concentración en *Origanum vulgare* con 19,800 mg/kg, mientras Juárez-Rosete *et al;* (2019) obtuvieron 55,700 mg/kg. La disponibilidad de potasio producida por la fertilización se ve afectada por la cantidad, naturaleza de las arcillas y saturación potásica, que provocan una redistribución del potasio agregado en las formas intercambiables y fijadas (Conti, 2000).

El tratamiento 3 fue el que registro la mayor cantidad de calcio (sin rizobacteria + fertilización al 100%) con una concentración de 21,263 mg/kg, y éste valor fue significativamente mayor a todos los demás tratamientos, donde el T 7 con 11,677 mg/kg resulto ser el de menor concentración y fue superado en 82.09%,

por el tratamiento 3. Novoa (2019), en *Origanum vulgare* obtuvo menores concentración con 11,200 mg/kg. La gran cantidad de calcio presente en suelo y agua de riego puede ser responsable de que la concentración de este elemento esté presente en los tejidos vegetales.

Cuadro 7.- Comparación de medias de Tratamientos para la concentración macroelementos en hoja en los ambientes de cultivo ((Tukey $P \leq 0.05$).

Tratamiento	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
1	11433 AB	2636.30 G	8392.90 ABCD	13847 B	1762.20 A
2	13922 AB	2914.10 EFG	9506.50 A	14128 B	1528.90 A
3	15011 A	3131.90 DEF	7097.10 E	21263 A	1777.80 A
4	14078 AB	2837.70 FG	7582.50 DE	15249 B	1556.70 A
5	13300 AB	3254.30 CDE	8878.80 ABC	11946 B	1506.70 A
6	11278 AB	3404.50 BCD	8520.50 ABCD	13001 B	1388.90 A
7	11433 AB	3230.00 CDE	8260.30 CD	11677 B	1411.10 A
8	11278 AB	3669.30 AB	8336.20 BCD	12176 B	1635.60 A
9	10033 B	3478.30 ABCD	9138.50 ABC	12288 B	1496.70 A
10	13611 AB	3513.00 ABC	7592.90 DE	15820 B	1436.70 A
11	12989 AB	3564.20 ABC	8579.90 ABCD	14870 B	1625.60 A
12	11589 AB	3794.30 A	9021.70 ABC	13936 B	1525.60 A
13	13300 AB	3408.00 BCD	8491.30 ABCD	15577 B	1677.80 A
14	13144 AB	3634.50 AB	9450.20 AB	13250 B	1472.20 A
15	11589 AB	3723.10 AB	8676.10 ABCD	16169 B	1825.6 A

Medias con letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$).

Para el magnesio no se observaron diferencias significativas, entre tratamientos aunque el tratamiento 15 (Cepa comercial + fertilización al 100%) con 1,825.6 mg/kg, supero en 31.44% al tratamiento con la menor concentración que fue el tratamiento 6 con 1,388.9 mg/kg. Los resultados observados en éste trabajo difieren de lo reportado por Novoa (2019), que obtuvo una concentración de 4.100 mg/kg en *Origanum vulgare*.

3. Efecto del Ambiente de Cultivo y Tratamientos Sobre el Contenido de Microelementos en Hoja

Los análisis de varianza presentó diferencias significativas entre los ambientes de cultivo, en los microelementos, Cobre (Cu) y Zinc (Zn) estudiados en la hoja de orégano, lo que indica que la concentración de estos microelementos en hoja si es afectada por el ambiente de cultivo (Cuadro 8). Por lo que se procedió a hacer pruebas de Tukey para determinar qué ambiente favoreció el contenido de cada microelemento. Lo observado indica que por lo menos un tratamiento afecto de forma significativa la concentración de los microelementos estudiados en hojas de orégano. El mismo análisis muestra diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.01$) y en la interacción de ambientes por tratamientos, lo antes citado indica que por lo menos un tratamiento tiene efectos diferentes del resto de tratamientos sobre el contenido de micro elementos estudiados, igualmente e puede indicar que los tratamientos respondieron de forma diferente en cada ambiente de producción.

Cuadro 8.- Análisis de varianza ($P \leq 0.05$) de los tratamientos en los ambientes de cultivo para la concentración de micro elementos en hoja.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		Cu	Zn
Amb	2	108.536963 **	1020.557556 **
Rep(Amb)	6	2.109037 *	34.145259 *
Trat	14	3.3904233 **	75.972571 **
Amb*Trat	28	2.6405344 **	37.209222 **
Error	56	1.159706838	19.0047962

** = Ambientes con diferencias significativas.

Al realizar la comparación de medias a través de ambientes, se encontró que el contenido de cobre (8.24 mg/kg) en hojas cosechadas en invernadero, fue significativamente mayor al contenido observado en hojas cosechadas en plantas cultivadas dentro de cubierta de malla sombra (5.79 mg/kg) o en campo abierto (5.36 mg/kg), éste último fue superado en 53.73% por el contenido observado en invernadero. También en invernadero se encontró la mayor concentración de Zinc en hoja (31.49 mg/kg) y fue significativamente ($p \leq 0.5$) mayor a las concentraciones de Zinc observadas en malla sombra, a la cual superó en 42.23% y mientras que a la concentración observada en campo abierto la superó en 24.76% (Cuadro 9).

Cuadro 9.-Comparacion de medias de Ambientes de cultivo en la concentración de microelementos en hoja.

Ambiente	Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
Campo Abierto	5.36	B	25.24	B
Malla Sombra	5.79	B	22.14	C
Invernadero	8.24	A	31.49	A

Medias con letras iguales indican que no hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$).

Antal *et al*; (2015) en biomasa de *Origanum vulgare*, obtuvieron concentraciones similares en cobre, mientras que en zinc las concentraciones fueron mayores, el tipo de suelo y clima juegan un rol importante en la absorción de los diferentes microelementos, así como también el tipo de cultivo (Intensivo y producción silvestre).

La comparación de medias muestra que el tratamiento 9 (Cepa A2 + fertilización al 100%) presentó la concentración más alta de cobre con 7.65 mg/kg de hoja seca, superando significativamente a los tratamientos 5, 7 y 10, a los cuales superó en 37.6%, 31.4% y 31.7% (Cuadro 10). La combinación de la cepa A2 y la fertilización al 100% ayudo a la mejor concentración de cobre en hoja, en general se puede indicar que la fertilización al 100% ayudo a la mayor concentración de cobre en hoja superando en 13.5% a la media de los tratamientos que no recibieron fertilización química. Igualmente, el tratamiento 9 y adicionalmente el 15 manifestaron los mayores valores de zinc en hoja, fueron significativamente iguales a 9 tratamientos más y significativamente superiores a los tratamientos 1,4, 7 y 13, que manifestaron los valores más bajos de zinc en hojas. Los tratamientos que recibieron nutrición Steiner al 100% tuvieron en promedio una cantidad 21.65% mayor que los tratamientos que no recibieron nutrición química, indicando que la nutrición química favoreció las mayores concentraciones de zinc en hoja. Mientras que el uso de *Azospirillum* solo incremento en 5% respecto a los tratamientos sin *Azospirillum*, por lo tanto se puede indicar que *Azospirillum* no tuvo una influencia significativa sobre el contenido de zinc, aunque Arzanch *et al*;(2012) afirma que la aplicación de *Azospirillum* incrementa su concentración en la planta.

Cuadro 10.- Comparación de medias de Tratamientos para la concentración microelementos en hoja en los ambientes de cultivo ((Tukey $P \leq 0.05$).

Tratamiento	Cu (mg/kg)		Zn (mg/kg)	
1	6.31	A B	24.13	B
2	6.86	A B	26.18	A B
3	5.96	A B	25.50	A B
4	5.97	A B	23.23	B
5	5.56	B	25.82	A B
6	6.72	A B	28.38	A B
7	5.82	B	21.61	B
8	7.10	A B	26.01	A B
9	7.65	A	31.71	A
10	5.81	B	24.94	A B
11	6.68	A B	28.27	A B
12	6.41	A B	25.41	A B
13	5.97	A B	23.21	B
14	7.10	A B	28.44	A B
15	7.07	A B	31.47	A

Medias con letras iguales en la misma columna indican que no hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$).

Novoa (2019), en hojas de *Origanum vulgare* obtuvo concentraciones mayores de cobre con 8.04 mg/kg contra 7.65 mg/kg de tratamiento 9, aunque concentraciones menores de zinc con valores de 26.13 mg/kg contra 31.71 mg/kg del tratamiento 9 de ésta investigación.

CONCLUSIONES

El ambiente de cultivo con mejores resultados para la producción de biomasa seca es el invernadero con una producción 32% mayor al de campo abierto y un 14% mayor al de malla sombra.

El mejor tratamiento con solución Steiner completa (100%) sin la aplicación de rizobacterias, fue la que indujo los mayores valores en las variables agronómicas estudiadas aunque fue significativamente igual a otros tratamientos.

Los sistemas de producción protegida favorecieron los mayores valores de macro elementos, en el cultivo bajo malla sombra se indujeron mayores valores de nitrógeno y potasio, mientras que la producción en invernadero indujo los mayores valores de fósforo, calcio y magnesio.

La producción en invernadero indujo la mayor concentración de cobre y zinc, superando significativamente a las concentraciones de Zinc obtenidas en hojas de plantas desarrolladas bajo malla sombra o campo abierto.

LITERATURA CITADA

- Antal, S. D., Citu, C., Ardelean, F., Dhelean, C., Vlaia, L., Soica, C. , Vlaia,V.,Biris, M. & Sas, I. (2015). Metallome of *Origanum vulgare*: the unknown side of a medicinal and aromatic plant used worldwide. *Farmacía*, 63(4): 534-538.
- Arcila-Lozano, C. C., Loarca-Piña, G., Lecona-Urbe, S., & González de Mejía, E. (2004). El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1): 100-111.
- Arzansh, M. H., Benny, A. N., Ghorbanly, M. L., & Shahbazi, M. (2012). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on growth parameters and levels of micronutrient on rapeseed cultivars under salinity stress. *Electronic Jopurnal of Soil Management and Sustainable Production*, 3(2): 153-163.
- Cadahía López, C. (2005). *Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.* Mundi-Prensa Libros.
- Castillo, I. O., Almazán, A. J. S., Arellano, J. D. J. E., & Vázquez, C. (2017). Recoleccion Y Comercializacion Del Orégano (*Lippia* spp). En *El Semi-Desierto Mexicano, Un Caso De Estudio: Reserva Ecologica Municipal Sierra Y Cañon De Jimulco, Mexico.* *Revista Mexicana de Agronegocios*, 41: 684-695.
- Conti, M. E. (2000). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS*, 8, 25-37.
- Corella-Bernal, R. A., & Ortega-Nieblas, M. M. (2013). Importancia del aceite esencial y la producción de orégano *Lippia palmeri* Watson en el estado de Sonora. *Biotecnia*, 15(1): 57-64.
- Dunford, N. T., & Vazquez, R. S. (2005). Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture*, 7(1), 20-22.
- Flores, H. A., Hernández, H. J. A., López, M., J. I., Valenzuela, N. L. M., Martínez S. M., & Madinaveitia R.,H. (2011). Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) bajo cultivo en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3):113-120.
- Flores Rivera, E. (2009). *Potencial Productivo del Orégano (Lippia graveolens HBK.) y calidad de su aceite esenmcial en dos localidades de el Mezquital.* Tesis Doctoral CIIDIR IPN DURANGO. 130 p.

- García-Pérez, E., Fernando F. C. Á., Gutiérrez-Urbe, J. A., & García-Lara, S. (2012). Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2): 339-353.
- Huerta, C. (1997). Orégano mexicano: oro vegetal. *Biodiversitas*, 15(1): 8-13.
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Aburto-González, C. A., & Alejo-Santiago, G. (2019). Producción de biomasa, requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, y concentración de la solución nutritiva en orégano. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 25(1):17-28.
- López Martínez, C. (2014). Distribución geográfica y ecológica de dos especies de orégano (*Poliomintha longiflora* Gray. y *Lippia graveolens* HBK) en el estado de San Luis Potosí, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 91p.
- Lucy, M., Reed, E., & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*, 86(1): 1-25.
- Martínez-Hernández, R., Villa-Castorena, M. M., Catalán-Valencia, E. A., & Inzunza-Ibarra, M. A. (2017). Production of oregano (*Lippia graveolens* Kunth) seedling from seeds in nursery for transplanting. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 23(1): 61-73.
- Mazuela, A.P.A., De la Riva, M.F. (2013) MNUI de Fertirriego. Ediciones Universidad de Tarapaca, Arica, Chile. 62p.
<http://sb.uta.cl/libros/30846%20manual%20fertirriego%20web.pdf>
- Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., López-Aguilar, R., Troyo-Diéguez, E., Rueda-Puente, E. O., Flores-Hernández, A., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2013). Physiological, morphometric characteristics and yield of *Origanum vulgare* L. and *Thymus vulgaris* L. exposed to open-field and shade-enclosure. *Industrial Crops and Products*, 49: 659-667.
- Novoa C. T. (2019). Evaluación de la composición química y capacidad antioxidante de la planta de orégano (*Origanum vulgare* L.). Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Químico de Alimentos. Carrera de Química de Alimentos. Quito, Ecuador UCE. 106 p.
- Nkansah, G. O., & Ito, T. (1995). Comparison of mineral absorption and nutrient composition of heat-tolerant and non heat-tolerant tomato plants at different root-zone temperatures. *Journal of Horticultural Science*, 70(3): 453-460.
- Osorno-Sánchez, T., Flores-Jaramillo, D., Hernández-Sandoval, L., & Lindig-Cisneros, R. (2009). Management and extraction of *Lippia graveolens* in the arid lands of Queretaro, Mexico. *Economic botany*, 63(3): 314-318.

- Pérez G. F. V. (2016). Incremento en el rendimiento del cultivo de orégano (*Origanum vulgare* L.) variedad *nigra*, fertilizada con cepas nativas de *Azospirillum* sp. Y *Azotobacter* sp., bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Perú.
- Raffi, M. M., & Charyulu, P. B. B. N. (2021). Azospirillum-biofertilizer for sustainable cereal crop production: Current status. In Recent developments in applied microbiology and biochemistry. Academic Press. (pp. 193-209).
- Rodríguez S. P. A. (2014) Evaluación Estacional de la Producción y Calidad del Aceite Esencial en Plantas de Orégano (*Poliomintha longiflora* Gray) en Dos Sistemas de Cultivo. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola. Universidad Autónoma de Nuevo León. 66 p.
- Ruiz, J. A., Vázquez, R. S., & Hernández, D. I. F. (2009). Caracterización del aceite esencial de orégano liso (*Poliomintha longiflora* gray) de la localidad Infiernillo en el municipio de Higuera, NL, México. Revista salud pública y nutrición, 10(1).
- Valdés O. F. J. (2012). Efecto de estrés inducido con NaCl, Cu²⁺ y Fe²⁺ en biomasa, timol, carvacrol y prolina en orégano mexicano (*Lippia graveolens* HBK). Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 147 p.
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and soil, 255(2): 571-586.
- Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E. A., Arreola-Ávila, J. G., Inzunza-Ibarra, M. A., & López, A. R. (2011). Influencia de la frecuencia del riego en el crecimiento de orégano (*Lippia graveolens* HKB). Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 17(SPE), 183-193.
- Villavicencio, G., Cano, P y García, C. 2010. Metodología para determinar la existencia de orégano (*Lippia graveolens* H.B.K) en rodales naturales de Parras de la fuente, Coahuila. Folleto técnico INIFAP. 29 p.
- Villavicencio-Gutiérrez, E. E., Hernández-Ramos, A., Aguilar-González, C. N., & García-Cuevas, X. (2018). Estimación de la biomasa foliar seca de *Lippia graveolens* Kunth del sureste de Coahuila. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9(45): 187-207.

ANEXOS

ANEXO I.- Estudio de fertilidad de suelo



"Análisis que rinden abundantes cosechas..."




DIAGNOSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Ciente/Produtor: Ruben Rojas Melendez	Municipio: General Cepeda	Tipo de Abono Organico:
No. de Registro: SU-107224	Estado: Coahuila	Tipo de Agricultura: Riego
Fecha de Recepción: 18/06/2019	Rancho o Empresa: General Cepeda	Manejo de Residuos: NA
Fecha de Entrega: 20/06/2019	Cultivo Anterior: Acelga	Meta de Rendimiento: NA
Identificación/Lote: Proyecto Oregano	Cultivo a Establecer: Te	Prof. Muestra: 0-30 cm

Propiedades Físicas del Suelo			
Resultado	Interpretación		
Clase Textural	Franco		
Punto de Saturación	29.0 %	Mod. Bajo	
Capacidad de Campo	15.3 %	Mod. Bajo	
Punto March. Perm.	9.10 %	Mod. Bajo	
Cond. Hidráulica	7.50 cm/hr	Alto	
Dens. Aparente	1.04 g/cm ³		

pH del Suelo y Necesidades de Yeso, Cal y Lavado			
Resultado	Interpretación		
pH (1.2 agua)	8.64	Alcalino	
pH Buffer	NA		
Carbonatos Totales (%)	13.0 %	Mediano	
Salinidad (CE Extracto)	0.65 ds/m	Bajo	
Requerimientos de Yeso	No Requiere		
Requerimientos de Cal	No Requiere		

Fertilidad del Suelo									
Det	Result	Unid	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Med.	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
MO	0.47	%							
P-Olsen	18.4	ppm							
K	89.4	ppm							
Ca	3480	ppm							
Mg	69.3	ppm							
Na *	45.7	ppm							
Fe	0.91	ppm							
Zn	0.20	ppm							
Mn	0.46	ppm							
Cu	0.09	ppm							
B	0.37	ppm							
S	1.40	ppm							
N-NO ₃	26.6	ppm							

Cationes Intercambiables							
Gráfico Basado en % de Saturación							
Muy Alto							
Alto							
Mod. Alto							
Medio							
Mod. Bajo							
Bajo							
Muy Bajo							
% Sat	94.6	3.10	1.25	1.09	NA	NA	—
meq/100g	17.4	0.57	0.23	0.20	NA	NA	18.4
Catión	Ca	Mg	K	Na*	Al*	H*	CIC

Relación Entre Cationes (Basadas en me/100g)				
Relación	Ca/K	Mg/K	Ca+Mg/K	Ca/Mg
Resultados	75.7	2.48	78.1	30.5
Interpretación	Muy Alto	Mediano	Muy Alto	Muy Alto

* Es deseable que estos elementos tengan un bajo contenido

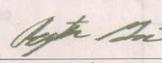
PND = PENDIENTE POR VERIFICACIÓN NA = NO ANALIZADO

Dosis de Fertilización por Elemento y Mejoradores de Suelo												
Registro Fertilab	Te	Cal	Yeso	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	Toneladas por hectárea				Kilogramos por hectárea							
SU-107224	Meta: 12	0	0	257	75.0	125	4	4	8	5	2	0.9

Interpretación Resumida del Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH alcalino. Suelo de textura media. Moderadamente calcareo. Libre de sales. Muy bajo nivel de materia orgánica, se recomienda su aportación. Deficiente en potasio. Bajo nivel de magnesio. muy bajo contenido de azufre. Suministro moderado de nitrógeno inorgánico.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Muy bajo en hierro disponible. Muy pobre en zinc. Muy pobre en manganeso. Deficiente contenido de cobre. Pobre en boro.



Gerente de Área Analítica
Ing. Agustín García Olivares

Poniente 6. No. 200 Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010. www.fertilab.com.mx

ANEXO II.- Análisis de agua de riego



"Análisis que rinden abundantes cosechas..."




ANÁLISIS DE AGUA

INFORMACIÓN GENERAL

Cliente/Productor	Merck	Cultivo a Establecer	Tomate de Cascara
No. de Registro	AG-13720	Fuente de Agua	Pozo
Rancho o Empresa	Parcela 17, ejido el Pilar	Fecha de Recepción	20/05/2019
Municipio	General Cepeda	Fecha de Entrega	21/05/2019
Estado	Coahuila		
Identificación/Lote	Pozo 2		

Características Generales de Salinidad / Sodicidad

Determinación	Abreviatura	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Cond. Eléctrica	CE	dS/m	1.30							
pH		-	7.46							
Rel. Ads Sodio	RAS	-	2.05							
Rel. Ads Sodio Aj	RASaj	-	2.65							
Dureza*	°f	-	43.81							

Cationes

Determinación	Abreviatura	meq / L	Unidades ppm	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Calcio	Ca	6.97	139							
Magnesio	Mg	1.83	22.0							
Sodio	Na	4.29	98.7							
Potasio	K	0.21	8.19							
Suma de Cationes	-	13.3	-							

Aniones

Determinación	Abreviatura	meq / L	Unidades ppm	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Sulfatos	SO4	4.84	232							
Bicarbonatos	HCO3	3.61	220							
Cloruros	Cl	3.53	124							
Fluoruros	F	NA	0.00							
Carbonatos	CO3	0.00	0.00							
Nitratos	N-NO3	1.07	15.0							
Suma de Aniones	-	13.1	-							

Determinaciones Especiales

Determinación	Abreviatura	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Boro	B	ppm	0.38							
Hierro	Fe	ppm	0.0300							
Manganeso	Mn	ppm	0.0010							
Cobre	Cu	ppm	0.0010							
Zinc	Zn	ppm	0.1820							
Arsenico	As	ppm	0.0090							

Determinación	Nitrogeno Amoniacal	Fosfatos	Solidos Totales	Solidos Disueltos	Niquel	Molibdeno
Resultado	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Unidades	ppm	meq / L	ppm	ppm	ppm	ppm

PND = PENDIENTE POR VERIFICACIÓN NA = NO ANALIZADO

*Dureza del agua va de muy blanda a muy dura

Poniente 6. No. 200 Ciudad industrial
Celaya, Gto. C.P. 38010
Tel. (461) 614 5238, 614 7951
www.fertilab.com.mx


Gerente de Area Analitica
 Ing. Agustin Garcia Olivares

Este documento se encuentra protegido y registrado ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial, queda prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización expresa de FERTILAB S de CV.