

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Evaluación de Intervalo de Riego y Niveles de Nitrógeno en Orégano (*Origanum Vulgare*)
sobre el Efecto en Producción de Biomasa y Biosíntesis de Aceite Esencial.

POR:

ANA PATRICIA LÓPEZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Marzo 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Evaluación de Intervalo de Riego y Niveles de Nitrógeno en Orégano (*Origanum Vulgare*)
Sobre el Efecto en Producción de Biomasa y Biosíntesis de Aceite Esencial.

Por:

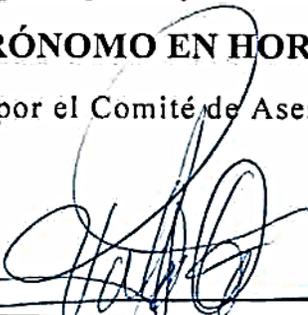
ANA PATRICIA LÓPEZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



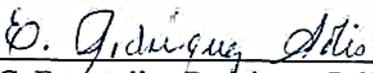
Dr. Francisco Javier Valdés Oyervides

Asesor Principal



Dra. Laura Raquel Luna García

Coasesor

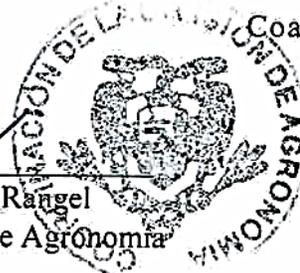


M.C. Evangelina Rodríguez Solís

Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador De División De Agronomía



Saltillo, Coahuila. México
Marzo 2024

Declaración de no plagio

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor principal



Ana Patricia Lopez Varquez

Firma y Nombre

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo en primer lugar a Dios, ya que gracias al por ser mi apoyo, mi mano derecha y que me ha dado las fuerzas y motivación para continuar y culminar mis estudios académicos.

Dedico también este trabajo a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos ellos que nunca me abandonaron durante todo mi proceso.

A mi padre, el Ing. Patricio López Fabián, quien, con sus enseñanzas y lecciones, fueron el pilar de mi inspiración y tener amor hacia la madre tierra.

A mi madre la señora Nieves Margarita Vázquez Eugenio, por ayudarme y aconsejarme en momentos más difíciles de mi vida, a ella que con su cariño me motivo a seguir con mi carrera universitaria.

A mis hermanas Laura Michell Lopez Vázquez y Ana Victoria López Vázquez, quienes son mi inspiración y mis compañeras de vida.

A mis abuelos, Artemio Vázquez, Antonia Eugenio, Jaime López Sánchez y Engracia Fabián. Mis tíos Luis Román Vázquez, Georgina Vázquez.

Mis primos José Manuel López, Arturo Gerardo López, al Ing. Abram López, Jaime López, Cesar Omar López, Carolina Arellano y Ana Valeria López. Quienes mostraron su apoyo incondicional.

A Karla Michelle Alvarado Velasco, quien me brindo su mano y amistad en todo el lapso desde inicio a fin de mi carrera.

Al Ing. Brayant Ernesto Sánchez Ávila, quien me brindo su apoyo y compañía en momentos felices y difíciles en el punto culminante de mi carrera.

A mis amigos, a la Ing. Areli Jazmín Rojas Silvestre, Jesús Pacheco Amaro, Rey David Muñoz, Luis Alejandro Aco Espinosa, Sandro Alexis Matamoros, Sergio Pulido y Javier Martínez, ya que me formaron parte de esta gran aventura.

A mi mejor amiga Mirian Mora Sánchez, Maricarmen de los Santos, y Carolina Flores, quienes desde lejos mostraron su apoyo, cariño y bendiciones.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a mis padres los señores Patricio López Fabián y a la señora Nieves Margarita Vázquez Eugenio, por ser mis primeros maestros y formadores en la vida y por apoyarme he impulsarme para continuar y culminar mis estudios académicos.

A mi Alma Terra Mater, mi formadora y madre, la que me brindo la oportunidad de crearme como un profesionista.

Hago un merecido reconocimiento ay a agradecimiento a todos mis maestros por haberme apoyado y brindado sus conocimientos y haberme dejado compartir y aprender de sus experiencias y conocimiento.

Agradezco al Dr. Francisco Javier Valdez Oyervides, por brindarme la oportunidad de aprenderle y aconsejarme, no solo como mi asesor si no como un amigo.

A mis amigos y maestros el Dr. Luis alonso Valdés Aguilar, Dr. Etelberto Cortez Quevedo, T.LQ. María Guadalupe Pérez Ovalle, y a M.C. Evangelina Rodríguez Solís

A M.C. Yadmi Xitlali Peralta Tabarez, Técnico académico Carlos Alberto Arévalo y a Diego Corona quienes me apoyaron con la realización de este trabajo experimental.

En general a todo el departamento de horticultura, ya que cada persona mostro un apoyo y me brindo una mano cuando lo necesitaba.

INDICE

| | |
|--|------------|
| INDICE DE CUADROS Y FIGURAS | ii |
| RESUMEN | iii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. OBJETIVO | 2 |
| 3. OBJETIVO ESPECIFICO | 2 |
| 4. HIPÓTESIS | 2 |
| 5. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| Clasificación taxonómica. (<i>Origanum Vulgare</i>) | 4 |
| Descripción botánica | 4 |
| Composición química del orégano. | 5 |
| Actividad biológica de los componentes del orégano. | 6 |
| Antioxidante. | 6 |
| Usos y aplicaciones industriales. | 7 |
| El estrés en el orégano | 7 |
| Las condiciones bióticas | 7 |
| Las condiciones abióticas | 8 |
| Factores de estrés. | 8 |
| Estrés hídrico. | 10 |
| Respuesta del nitrógeno en las plantas. | 11 |
| 6. MATERIALES Y MÉTODOS | 12 |
| Material vegetativo. | 12 |
| Tratamientos que se evaluaron. | 13 |
| Material de campo. | 14 |
| Material de laboratorio | 14 |
| Variables evaluadas | 15 |
| Biomasa (peso fresco y seco de la planta) | 15 |
| Aceite Esencial | 15 |
| Análisis de sustrato | 16 |
| 7. REULTADOS Y DISCUSIÓN | 16 |
| 8. CONCLUSIONES | 25 |

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Ilustración 1. Relación de factores ambientales que limitan el buen desarrollo en las plantas. __8

Ilustración 2. Distribución del experimento en el invernadero _____30

Tabla 1. Tratamientos evaluados _____13

Tabla 2. Informe de análisis de sustrato _____16

Tabla 3. Concentración de resultados de la combinación de factor de tratamientos _____17

RESUMEN

Se evaluó el efecto del riego y fertilización nitrogenada en 45 plantas de orégano (*Origanum Vulgare*), dividiéndolas en tres grupos de 15 plantas (A₁ 5 días, A₂ 10 días y A₃ 15 días de intervalo de riego). Y estos se dividieron en 3 sub grupos que se sometió a diferentes niveles de nitrógeno identificadas como (B₀) control sin nitrógeno, (B₁) con 5 gramos de nitrógeno y (B₂) con 10 gramos de nitrógeno. Se evaluaron la biomasa y la síntesis de aceites esenciales. Los resultados mostraron que el mayor peso de biomasa se obtuvo en el riego que se aplicó cada 5 días, se observó en el peso seco un aumento significativo en las muestras sin aplicación de nitrógeno, mientras que el tratamiento con 5 gramos de nitrógeno fue similar al control. Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de aceite, siendo el tratamiento de riego cada 5 días el más efectivo, con una discrepancia del 30% respecto al de 10 días y del 51% respecto al de 15 días. En el porcentaje de aceite esencial fue superior el tratamiento de 5 días en combinación con 5 g de N, versus al del riego de cada 10 y 15 días. La biosíntesis de aceites esenciales mostró efectos adversos en el intervalo de riego de 15 días. Los resultados indican que un riego en intervalos cortos con niveles controlados de nitrógeno produce mayor cantidad de biomasa y aceite esencial en el cultivo de orégano.

Palabras clave: Orégano, aceites esenciales.

1. INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en México es de las más ricas del mundo, eso lo identifica como uno de los principales países productores de especies vegetales, los desiertos y semidesiertos mexicanos albergan una gran cantidad de especies vegetales, una de estas especies es el orégano que crece en forma silvestre y su uso como condimento y hierba curativa incidió desde las antiguas culturas y continúa explotándose de la misma manera hasta nuestros días (Alarcón,1993).

El orégano es una planta considerada como aromática y de uso medicinal, rica en aceite esencial, con amplio potencial en el campo de la alimentación y farmacológico, su aprovechamiento es una oportunidad para un interés mayor en el desarrollo de programas de investigación. La composición química del aceite esencial de orégano (*Origanum Vulgare*) es de gran importancia por su actividad biológica. Los aceites esenciales ricos en compuestos fenólicos son reportados en múltiples investigaciones por su alta efectividad antimicrobiana. El timol posee mayor efecto que el carvacrol contra las bacterias Gram negativas. Hay estudios preliminares que asociaron a los aceites esenciales del orégano con potencial anticancerígeno (Sivropoulou, 1996).

Cuando las plantas son sometidas a condiciones adversas, se genera un efecto que produce una respuesta en procesos fisiológicos y metabólicos (Benavides *et al.*, 2001), ello indica la posibilidad de manipular la concentración o cantidad relativa de metabolitos a través de técnicas de manejo agronómico. La inducción controlada de estrés a través de compuestos señalizadores o prooxidantes es una conocida herramienta cada vez más utilizada para explorar las respuestas fisiológicas y metabólicas adaptativas de la planta (Kessmann *et al.*, 1994).

Por ello se considera factible su aplicación con el propósito de promover y/o incrementar biosíntesis de metabolitos secundarios (Gantet y Memelink. 2002). Existen reportes que la aplicación controlada de algún estrés ambiental origina un estrés oxidativo celular, o bien la aplicación de un compuesto prooxidante como el ácido salicílico o los metales pesados causan efectos en el metabolismo redox de las plantas, cambios que dan lugar a través de una gran variedad de señales, la modificación de expresión genética y a la obtención de fenotipos con una diferente composición química. En particular en el caso de iones libres de metales el factor inductor de la respuesta es la acumulación de radicales libres derivados de reacciones Fenton (Stosh y Bagchi.1995; Oyervides 2012).

Por otro lado, también se ha buscado que mediante la aplicación de técnicas convencionales de optimización en parámetros de producción las plantas reaccionan favorablemente, en el caso de orégano se ha reportado buenos resultados de producción de biomasa y de metabolitos secundarios (Al Ahí, *et al.*, 2009). Por esta razón en este trabajo se investigó la respuesta de diferente intervalo de riegos y niveles de fertilización nitrogenada.

2. OBJETIVO

Evaluar la respuesta del Orégano a diferentes intervalos de riego y niveles de fertilización en la productividad de biomasa y producción de aceite esencial.

3. OBJETIVO ESPECIFICO

Evaluar el efecto de la humedad y del nitrógeno en la producción de biomasa.

Evaluar el efecto de la humedad y del nitrógeno en la producción de aceite esencial.

4. HIPÓTESIS

La respuesta de biomasa y de aceite esencial serán diferentes por el efecto de concentraciones de nitrógeno y de intervalo de riegos.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo.

Orégano (*Origanum Vulgare*)

El nombre "orégano" proviene del griego "oros" y "gamos", que significa "adorno" o "alegría de la montaña", haciendo referencia al aspecto y aroma agradable de esta planta que se empleaba desde la antigüedad como aperitivo amargo, tónico y desinfectante de heridas (Di Fabio Amanda, 2019)

Según EFSA (2010), el orégano es originario de Europa y Asia central, extendiéndose por toda Europa y Asia central, pero se cultiva en todo el mundo, crece en los pastizales y al lado de los bosques, sobre todo en las montañas y colinas hasta 200 msnm, sin embargo, se encuentra en mayor exuberancia entre los 1400 y 200 msnm.

El orégano pertenece a la categoría de productos no maderables, es una planta que se localiza en zonas semiáridas y áridas del país, en un hábitat de vegetación caracterizado por matorral desértico chihuahuense, matorral microfilo, matorral rosetófilo, izotal, matorrales halófilo y gisofilo, matorral tamaulipeco, matorral submontano, bosque de montaña, bosque de encino, bosque de pino, bosque de oyamel (CONABIO, 2005).

El orégano es una hierba aromática ya que es rica en aceites esenciales, el aroma es más fuerte, el sabor más intenso y el aroma más duradero según el ambiente en que habita. Los aceites esenciales que se obtienen se utilizan en la cocina lo que lo convierte en un excelente condimento multiusos en la cocina mexicana, en la industria farmacéutica, vitivinícola y cosmética, así como en la industria de enlatados. También se utiliza habitualmente por sus propiedades tónicas, digestivas, laxantes y antiasmáticas.

Se asocia con comunidades donde destacan especies como: Agave lechuguilla, Larrea tridentada, Flouencia cernua, Acacia rigidula, Opuntia ratrera, Patherum incanum, Leucphy Frutences, Agave sp (Berlanga, *et al*, 2005).

El principal producto que del que derivan sus hojas del Orégano es el aceite esencial, el cual tiene usos en las industrias licoreras, refresqueras, cosmetología y farmacéuticas, al igual que las hojas secas son exportadas a EUA, Italia y Japón (CONAFOR,2007)

El Orégano comprende varias especies que son utilizadas con fines culinarios, siendo las más comunes el *Origanum Vulgare*, nativo de Europa, y el *Lippia graveolens*, originario de México, (pierce,1999). Todas ellas silvestres, se distribuyen en casi todos los estados de la república, pero principalmente en las regiones airadas y semiáridas, ocupando una superficie aproximada de 35.5.5 millones de has. (Maldonado, 1998).

Silva (2004) aporta referencias de la distribución silvestre del Orégano en Guerrero, San Luis Potosí, Hidalgo, Zacatecas, Chihuahua, Oaxaca, Coahuila, Durango, Nuevo León, Sonora, México, Tamaulipas, Puebla, Yucatán, Guanajuato, Jalisco y Guerrero.

Dentro de la clasificación del Orégano se han identificado 11 especies de oréganos pertenecientes a 4 familias y 9 géneros. Tan solo en México existen 6 especies de la familia labiatae, 3 especies de la familia Compositae, 1 especie de la familia leguminoseae.

Clasificación taxonómica. (*Origanum Vulgare*)

Reino: Vegetal

Subdivisión: Angiospermae

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Género: *Origanum*

Especie: *Vulgare*

Descripción botánica

Toda la planta desprende un agradable y particular aroma, y su sabor es amargo, en regiones más cálidas la fragancia es de mayor intensidad, el gusto es más picante y olor persistente. *Origanum Vulgare* es una planta vivaz (que vive más de dos años), que alcanza entre 30 y 80 centímetros y no es redondo, sino cuadrado, ramificado en la parte más alta, totalmente cubierto de pelusilla blanca. Posee un rizoma rastrero (Cameroni 2013)

Tallos. Ramificados de consistencia leñosa, con gran cantidad de hojas, que constituyen la parte aprovechable.

Hojas. De 1 a 4 cm de longitud, hojas opuestas, simples enteras, de forma ovalada a lanceolada, con ligeras vellosidades y tiene un verde oscuro.

Flores. Son pequeñas, tubulares de color blanco a rosa pálido o lila. Se agrupan en inflorescencias densas y terminales llamadas espigas.

Fruto. Es una cápsula pubescente que tiene 0.47 mm, guarda 4 semillas de color café, con un ancho de 0.8 mm y con un largo de 1.7 mm, de forma oval, en un gramo hay de 20000 a 30000 semillas.

Raíz. El sistema radicular es modificado, con raíces laterales entre los 30 y los 80 cm (Maldonado, 1998).

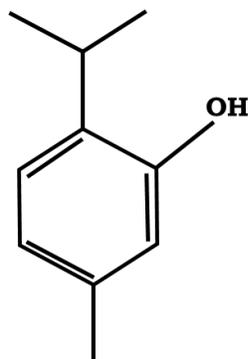
Composición química del orégano.

Los compuestos más comunes en el orégano son el carvacrol y el timol, los cuales son los principales en el género *Origanum* y *Lippia*.

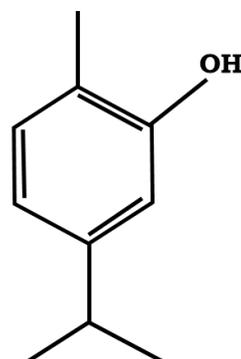
Otros compuestos que se encuentran en menor cantidad en la especie de *O. Vulgare* son el Ácido o-cumárico, ferúlico, cafeico, r-hidroxibenzoico y vainillínico.

El contenido de estos compuestos depende de la especie, el clima, la altitud, la época de recolección y el estado de crecimiento de la planta.

El ácido carioptosídico, naringenina, pinocembrina, o-felandreno, carvacrol, 1,8-cimeno, metil timol, y timol, a continuación, se muestran las estructuras del carvacrol y timol.



TIMOL
(MONOTERPENO)



CARVACROL
(MONOTERPENO)

Actividad biológica de los componentes del orégano.

Antioxidante.

(Azuma, *et al*, 1999) menciona que una de las principales actividades biológicas del orégano es su capacidad antioxidante, especialmente en especies del género *Origanum*. La función antioxidante de diversos compuestos en los alimentos ha atraído mucha atención en relación con el papel que tienen en la dieta en la prevención de enfermedades. Los compuestos antioxidantes son importantes porque poseen la capacidad de proteger a las células contra el daño oxidativo, el cual provoca envejecimiento y enfermedades crónico-degenerativas, tales como el cáncer, enfermedad cardiovascular y diabetes. Los antioxidantes como los tocoferoles, los carotenoides, el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos se consumen a través de los alimentos. En algunos estudios de especias se han aislado una amplia variedad de compuestos antioxidantes fenólicos.

(Arcila *et al.*, 2014) nos indican que existen múltiples estudios sobre la actividad antimicrobiana de los extractos de diferentes tipos de orégano. Se ha encontrado que los aceites esenciales de las especies del género *Origanum* presentan actividad contra bacterias gram negativas como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia enterocolitica* y *Enterobacter cloacae*; y las gram positivas como *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Listeria monocytogenes* y *Bacillus subtilis*. Tienen además capacidad antifúngica contra *Cándida albicans*, *C.tropicalis*, *Torulopsis glabrata*, *Aspergillus*, *Níger*, *Geotrichum* y *Rh odorula*; pero no contra *Pseudomona aeruginosa*.

Se ha evaluado la actividad antimicrobiana de los componentes aislados, así como el del aceite esencial. Los fenoles carvacrol y timol poseen los niveles más altos de actividad contra microorganismos gram negativos, excepto para *P. aeruginosa*, siendo el timol más activo. Otros compuestos, como el g-terpineno y r-cimeno no mostraron actividad contra las bacterias estudiadas. Los valores de la concentración mínima inhibitoria (CMI) para los aceites esenciales se han establecido entre 0.28-1.27 mg/ml para bacterias, y de 0.65-1.27 mg/ml para hongos.

En el caso de *E.coli* O157:H7 existe una relación concentración/efecto a 625 ml/L con actividad bactericida después de 1 minuto de exposición al aceite, mientras que después de 5 minutos se requirieron 156 y 312 ml/L. Dicha acción antimicrobiana posiblemente se debe al efecto sobre los

fosfolípidos de la capa externa de la membrana celular bacteriana, provocando cambios en la composición de los ácidos grasos. Se ha informado que las células que crecen en concentraciones subletales de carvacrol, sintetizan dos fosfolípidos adicionales y omiten uno de los fosfolípidos originales.

Usos y aplicaciones industriales.

El orégano (*O. vulgare*) tiene usos medicinales, culinarios y cosméticos. Es utilizado en forma fresca y seca en la cocina mediterránea y de América Latina. Las especies de *Vulgare* tiene usos tradicionales y farmacológicos tales como culinarios, analgésicos, antiinflamatorios, antipiréticos, sedantes, antidiarréico, tratamiento de infecciones cutáneas, antifúngico, tratamiento de desórdenes hepáticos, diurético, antihipertensivo, remedio de desórdenes menstruales, antimicrobiano, repelente, antimalaria, antiespasmódico, tratamiento de enfermedades respiratorias, de sífilis y gonorrea, contra la diabetes, abortivo y anestésico local.

Debido a la capacidad antioxidante de los extractos acuosos del orégano, se sugiere que éstos pueden ser empleados como sustituto de los antioxidantes sintéticos. También se ha probado el efecto antioxidante de hojas, flores, extractos y aceite esencial de orégano con resultados positivos en productos cárnicos. Otra forma interesante de evitar la peroxidación de los ácidos grasos en la carne es utilizando los aceites esenciales del orégano como suplemento en la alimentación de los animales destinados para consumo humano.

El estrés en el orégano

Algunos reportes de investigación, demuestran que las plantas de orégano sintetizan cantidades de aceite, así como los compuestos del mismo aceite, varían de acuerdo a las condiciones ambientales.

Las condiciones bióticas: Los factores no vivos o ambientales que influyen en su desarrollo, crecimiento y supervivencia. Estos factores abióticos incluyen elementos como la luz, la temperatura, el agua, el suelo, la disponibilidad de nutrientes, la salinidad y la presión atmosférica.

Las condiciones abióticas: Los factores vivos o biológicos que influyen en su desarrollo y crecimiento. Estos factores bióticos incluyen interacciones con otros organismos vivos en su entorno.

El estrés se define como la desviación de las condiciones de vida ideales. Todos los niveles funcionales de la planta pueden cambiar en respuesta al estrés y estos cambios pueden ser temporales o permanentes. Con base en lo anterior, la definición de estrés se puede definir como: “El conjunto de reacciones bioquímicas o fisiológicas que determinan el estado de un organismo se comporte de manera diferente en condiciones extremas” (Benavides, 2002).

La figura 1 ilustra las condiciones ambientales y las respuestas de las plantas.

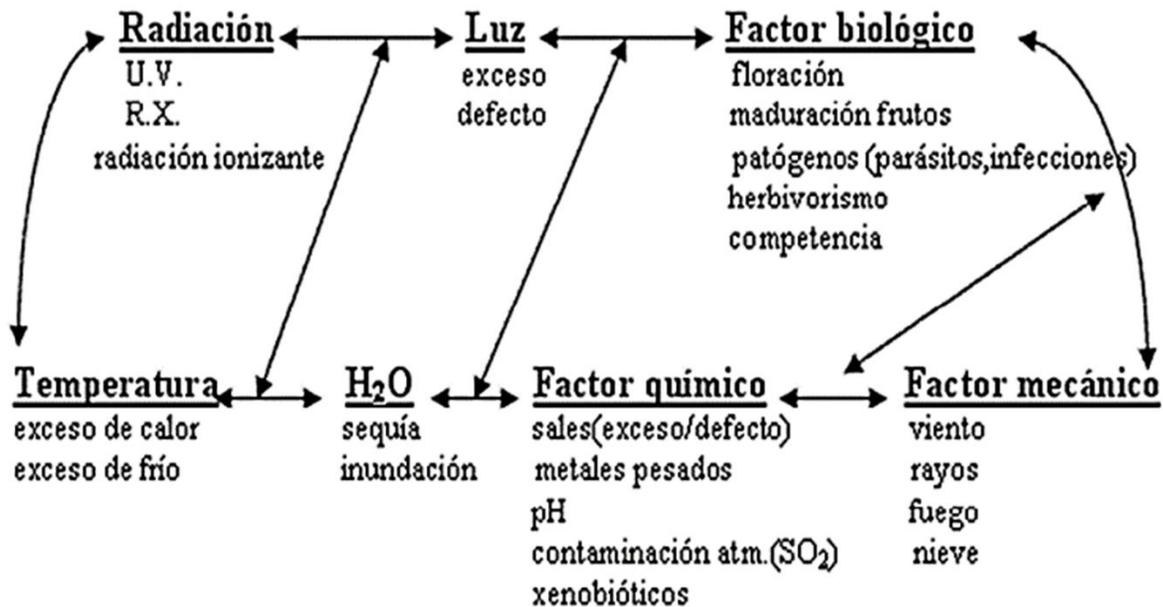


Ilustración 1. Relación de factores ambientales que limitan el buen desarrollo en las plantas.

Factores de estrés.

Son múltiples los factores que inducen estado de estrés en las plantas. El estrés ambiental es el principal factor. Estos cambios ambientales se originan principalmente por las actividades antropogénicas, que han causado la contaminación del aire y del suelo, lluvia ácida, degradación

del suelo, salinidad, el aumento de radiación UV-B, cambio climático, etc. Además, las plantas están expuestas tanto a factores químicos, mecánicos y desastres naturales presiones climáticas o edáficas, por ejemplo, la alta irradiación, luz, calor, frío, heladas tardías, sequía, inundaciones, factores biológicos, H₂O, y los desequilibrios de nutrientes. Algunos de estos factores de estrés pueden fluctuar significativamente en intensidad y duración en escalas de tiempo de horas, días, estaciones o años, mientras que otros pueden cambiar lentamente y poco a poco las condiciones de crecimiento de las plantas. Puesto que las plantas son organismos sésiles, necesitan medios flexibles para la aclimatación a las condiciones cambiantes del medio ambiente para mejorar la protección de una planta, es importante entender los mecanismos que contribuyen a la tolerancia al estrés (Schutzenduble & Polle, 2002; Benavides 2002)

La respuesta de las plantas ante estos factores de estrés es una manifestación fisiológica de respuestas moleculares que son inducidas o modificadas. Una respuesta simple es en la tasa de absorción de CO₂ ya que, frente a la sequía, las plantas pueden cerrar las estomas, para reducir la pérdida de H₂O por transpiración, o en el nivel de ciertos reguladores, ya que además pueden acumular solutos compatibles (como azúcares y aminoácidos) para mantener el equilibrio osmótico y proteger las estructuras celulares, es el resumen que refleja claramente numerosas modificaciones en la actividad y la función genética (Ramírez, 2001).

Es crucial comprender los procesos químicos y genéticos que las plantas emplean para enfrentar tanto el estrés de origen biótico como abiótico, con el objetivo de mejorar la resistencia a los cultivos. Al estudiar las plantas en situaciones de estrés, podemos descubrir más sobre su capacidad de adaptación y los límites de sus rutas metabólicas, así como identificar métodos que favorezcan la producción óptima de compuestos secundarios (metabolitos secundarios) (Benavides, 2002)

Los metabolitos secundarios o principios activos de los vegetales, se pueden presentar en toda la planta. Estos principios pueden variar a lo largo en la misma especie y en una misma planta de acuerdo a muchos factores tales como: época del año, características del suelo, etc. La composición y la cantidad de los metabolitos secundarios de estas plantas dependen de factores climáticos, la altitud, la época de cosecha, y su estado de crecimiento. Por lo tanto, el estudio de dichos factores y su efecto en el cultivo es importante para su mejor aprovechamiento y así para su explotación (Kokkini *et al*, 1997; Martínez, 1993).

Estrés hídrico.

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980). De acuerdo con los requerimientos de agua, las plantas pueden ser consideradas como hidrófitas si están adaptadas a vivir total o parcialmente sumergidas en el agua (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -5 a -10 bares); como mesófitas si están adaptadas a un aporte moderado de agua (en general no toleran potenciales hídricos más negativos de -20 bares) y como xerófitas si están adaptadas a ambientes áridos (no toleran potenciales hídricos más negativos de -40 bares) (Nilsen Uno de los factores ambientales más limitantes para las plantas, tanto en ecosistemas naturales como para la productividad agrícola, es el agua (Larcher, 1995; Taiz & Zeiger, 2002; Kirkham, 2005).

Este recurso es el mayor componente de las plantas, constituyendo del 80 al 95% de la masa de los tejidos de las especies no leñosas. Es el solvente más abundante y conocido y, como tal, actúa como medio del movimiento de las moléculas dentro y entre células, y provee el medio apropiado para muchas reacciones bioquímicas, además de participar de estas, distribuye moléculas orgánicas importantes como la sacarosa a través del floema, iones inorgánicos (nutrientes desde la raíz hacia las hojas a través de la xilema) y gases atmosféricos como el CO₂ (Fitter & Hay, 2002; Taiz & Zeiger, 2002).

Debido a la gran importancia del agua en las plantas, una cantidad limitada o excesiva de agua para estas constituye una situación estresante (Moreno, 2009), ya sea por condiciones de déficit hídrico o por anegamiento del suelo, donde la disponibilidad de oxígeno para las raíces se reduce, siendo más común el estrés causado por una cantidad limitada de agua o déficit hídrico (Ernst, 1990).

El agua se mueve a través de las plantas desde el suelo pasando por la raíz hasta las hojas por una diferencia del potencial hídrico, donde el potencial más negativo está presente en las hojas, y desde las hojas el agua se evapora hacia la atmósfera, de la cual captan el CO₂, en un proceso denominado transpiración. En un ambiente escaso de agua se desarrolla un estrés por déficit hídrico, debido a

que la pérdida de esta a través de las hojas excede la absorción de la misma (Taiz & Zeiger, 2002; Lawlor & Tezara, 2009; Moreno, 2009).

El estrés hídrico afecta a la fotosíntesis, debido a que la transpiración está relacionada con la captación de CO₂, ya que ambos ocurren en las hojas, a través de las estomas. (Schulze *et al.*, 1987; Chaitanya, Jutur, Sundar & Ramachandra, 2003; Lawlor & Tezara, 2009).

Además de la reducción de la tasa fotosintética como del suministro de CO₂, la enzima ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (RuBisCO) disminuye en cantidad, y en actividad, como consecuencia de esto la fotorrespiración aumenta, asegurando la reposición parcial del sustrato para la función de carboxilasa de la RuBisCO, pero al mismo tiempo se generan productos reactivos de oxígenos causando estrés oxidativo, el cual daña a los cloroplastos (Lisar, Motafakkerazad, Hossain & Rahman, 2012).

Junto con la fotosíntesis, el estrés hídrico afecta otras funciones de la planta como la expresión génica y consecuentemente la síntesis de nuevas proteínas, por lo tanto, la calidad y cantidad de proteínas en la planta se reduce. La nutrición mineral también se ve comprometida por el estrés, ya que el agua sirve como medio de transporte a los nutrientes. Se observan, además, cambios morfológicos en las hojas, como el tamaño y número de estomas y variaciones en la relación raíz/vástago. (Moreno, 2009; Lisar *et al.*, 2012).

La acumulación del ácido abscísico (ABA) también es característica de las plantas que experimentan estrés hídrico, y otros tipos de estrés ambiental, pues estimula la expresión de genes involucrados con la resistencia al estrés, además de inducir el cierre de las estomas por la acumulación de este en las células oclusivas (Orcutt, 1996).

Respuesta del nitrógeno en las plantas.

Entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es considerado el más importante, por ser el que se encuentra en mayor proporción, 1 a 3 % con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica, del órgano, etc. Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico. Las primeras son específicas y se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos,

proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica está asociada al efecto del ión nitrato y a otras formas reducidas del N, en la reducción del potencial hídrico (Ψ_w) de la vacuola, dentro del proceso de osmoregulación (Hopkins, 1995; Jones, 1998; Marschner, 1998; Taiz y Zeiger, 1998; Mengel y Kirkby, 2001). Considerando que el agua es el principal factor limitante del desarrollo de las plantas y que es la única sustancia capaz de integrar el crecimiento y la actividad metabólica a nivel celular, la función del N como agente osmótico, que permite retener al agua en las vacuolas, ha sido considerada tanto o más importante que su función nutrimental (McIntyre, 1997).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el invernadero 1 de Ornamentales del departamento de Horticultura, la extracción del aceite esencial en el Departamento de Ciencia y Tecnología De Alimentos, y el análisis del sustrato en el departamento de Ciencias del Suelo, campus Saltillo, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con sede en la ciudad de Saltillo, Coahuila, ubicada en las coordenadas geográficas 25° 21'19.6" latitud norte, 101° 02'06.0" longitud oeste y a una altitud de 1600 msnm.

Material vegetativo.

Las plantas orégano fueron obtenidas previamente mediante la propagación de plantas madre, para ello se seleccionaron 45 plantas, de una altura promedio de 30 cm.

Se utilizaron 45 contenedores de plástico para sustrato con capacidad de 12 litros y un diámetro de 30 cm, el sustrato utilizado fue recolectado dentro de las instalaciones de la universidad, con una textura franco arcilloso. Durante el desarrollo del experimento en el invernadero se mantuvo una temperatura promedio de 14°C a 26°C y humedad relativa entre 50% y 70%.

Posteriormente al trasplante, se agregó diferentes cantidades de Nitrógeno (utilizando sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) al subsuelo, se cubrió y se regó con agua corriente. El calendario de riego fue cada 5 días en un bloque de 15 plantas, 10 días en un bloque de 15 plantas y 15 días en un bloque de 15 plantas. La duración del experimento fue de 80 días. Las variables que se evaluaron fueron;

1.- Producción de biomasa (Peso verde y seco).

2.-Produccion de aceite esencial.

Tratamientos que se evaluaron.

Se establecieron dos factores de tratamiento A intervalo de riego y B niveles de nitrógeno de acuerdo a como se describe en la siguiente **tabla 1:**

Tabla 1. Tratamientos evaluados

| Bloques | Intervalo de riegos (Días) | CONCENTRACION DE N EN GRAMOS | NITROGENO EN GRAMOS |
|---------|----------------------------|------------------------------|---------------------|
| 1 | A ₁ | B ₀ | 0 |
| | A ₁ | B ₁ | 5 |
| | A ₁ | B ₂ | 10 |
| 2 | A ₂ | B ₀ | 0 |
| | A ₂ | B ₁ | 5 |
| | A ₂ | B ₂ | 10 |
| 3 | A ₃ | B ₀ | 0 |
| | A ₃ | B ₁ | 5 |
| | A ₃ | B ₂ | 10 |

El diseño experimental fue completamente al azar con 2 factores, intervalos de riegos como factor A (A₁; 5 días, A₂; 10 días y A₃;15 días) y niveles de nitrógeno como factor B, considerando para el factor A 15 plantas por tratamiento y para el factor B con 5 plantas por tratamiento. La comparación de medias por tratamiento se utilizó la prueba de Tukey.

Material de campo.

Sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

1 cubeta.

Tijeras para podar.

Regla (30cm).

Marcadores.

45 bolsas de sustrato de 12 litros.

Bolsas de papel des traza.

Vasos de unicel.

Una pala.

Agua corriente.

Análisis de suelos

Material de laboratorio

Estufa de secado

1 balanza analítica digital AND G-H 200, expresada en gramos.

1 vaso precipitado de 50 ml.

1 refrigerante serpentín.

2 soportes de acero.

1 estufa de calefacción electrónica

1 matraz de ebullición de 2 bocas de 2000ml.

1 matraz de llenado de 2000 ml.

1 cabezal de destilación.
1 embudo de separación con válvula de teflón.
1 receptor/embudo de separación con válvula de teflón.
2 mangueras de silicona.
1 abrazadera para matra.
1 abrazadera de extensión de 3 puntas.
2 soportes de abrazadera.
2 abrazaderas de plástico #24.
1 abrazadera de plástico #45.
1 tapón de vidrio.
1 espátula de plástico.
15 tubos eppendorf.
3m gasa quirúrgica.
Parafilm.

Variables evaluadas

Biomasa (peso fresco y seco de la planta)

Para dicha variable se tomaron las 5 plantas de cada fila, se pesaron cada una de ellas, se pasaron a la estufa de secado y se guardaron, posteriormente se procedió a pesar la muestra en una Balanza analítica digital AND G-H 200 expresada en gramos.

Aceite Esencial

Extracción de aceite esencial (*Origanum Vulgare*) se utilizó la técnica de arrastre de vapor, 50 g la muestra y 1000 ml de agua destilada en un matraz de fondo plano, se calentó a temperatura constante por un lapso de dos horas, posteriormente se obtuvo la lectura de la fase orgánica recolectada en el embudo de separación con válvula de teflón, que corresponde a los mililitros de

aceite. El arrastre se separó de la fase acuosa y se recolecto en un tubo eppendorf, manteniéndola en refrigeración contaste, esto para evitar la volatilización.

Análisis de sustrato

El análisis del sustrato se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y los resultados se presentan en la tabla 2:

Tabla 2. Informe de análisis de sustrato

| Muestra | Sustrato | Clasificación |
|--|----------------|---|
| Arena % | 39 | <p>Textura: Franco arcilloso</p> |
| Limo % | 28.2 | |
| Arcilla % | 32.2 | |
| Carbón Orgánico % | 1.95 | - |
| Materia Orgánica % | 3.36 | Rico |
| Nitrógeno total % | 4.94 | - |
| pH _{2:1} | 7.32 | Alcalinidad media |
| pH Extracto | 7.30 | |
| Conductividad eléctrica 2:1 (µs/cm) | 599.2 | Suelo no salino |
| Conductividad eléctrica Extracto (µs/cm) | 1496 | |
| Color Munsell | Seco 10 YR 4/2 | Húmedo 10YR 2/2 |
| Densidad aparente (g/cm ³) | 1.01 | - |
| Densidad real (g/cm ³) | 1.82 | - |
| Espacio poroso % | 38.56 | - |

El análisis estadístico (ANOVA) la variable de biomasa que corresponde a los días de intervalo de riego nos demuestra que no hay diferencias significativas, pero si en el peso seco ($p < 0.05$)

Tabla 3. Concentración de resultados de la combinación de factor de tratamientos

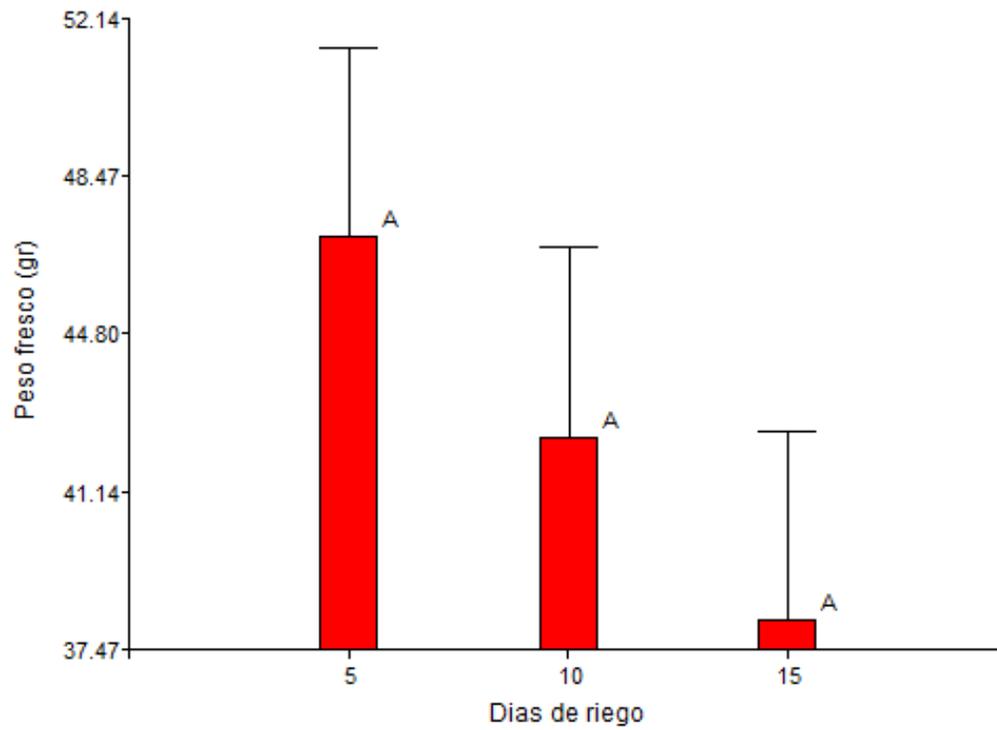
| INTERVALO DE RIEGO (Días) | NIVELES DE N | PESO FRESCO (g) | PESO SECO (g) | ml de AE | % de AE |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| A ₁ (5) | B ₀ | 51 | 20.118 | 0.02 | 0.04 |
| | B ₁ | 50.2 | 15.87 | 0.14 | 0.41 |
| | B ₂ | 40 | 13.502 | 0.12 | 0.26 |
| A ₂ (10) | B ₀ | 54 | 17.648 | 0.02 | 0.04 |
| | B ₁ | 52 | 14.5972 | 0.12 | 0.27 |
| | B ₂ | 21.2 | 9.796 | 0.03 | 0.11 |
| A ₃ (15) | B ₀ | 42 | 13.246 | 0.04 | 0.07 |
| | B ₁ | 41.8 | 13.1426 | 0.02 | 0.08 |
| | B ₂ | 30.6 | 9.342 | 0.02 | 0.05 |

AE= aceite esencial

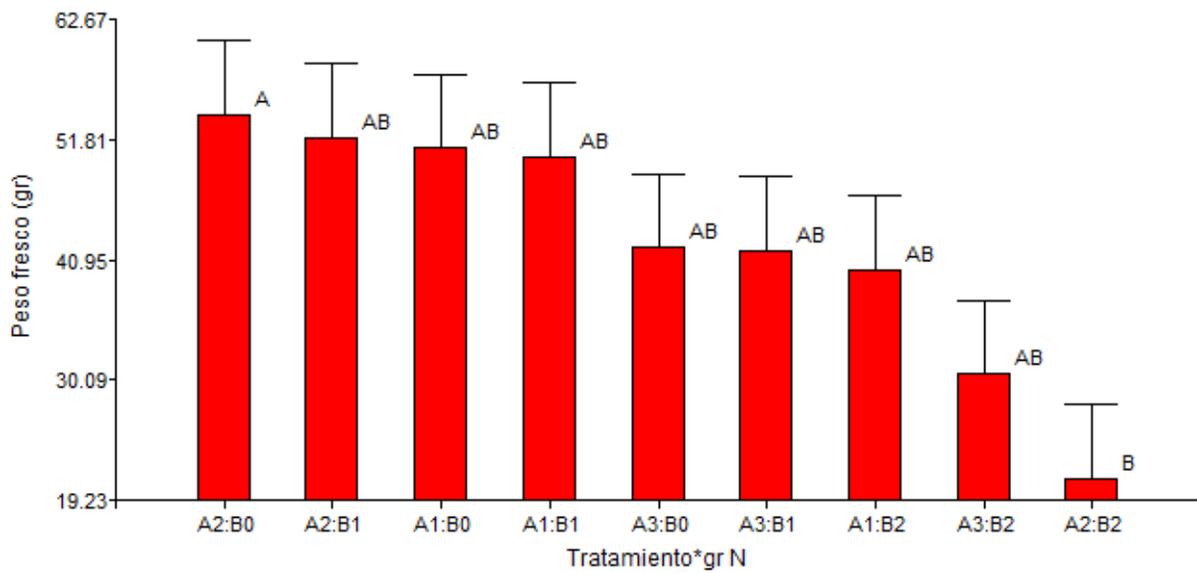
Resultados de biomasa

Estos resultados se complementan con las gráficas 1 ,2 ,3 ,4 ,5 y 6 donde se observa las diferencias significativas ($p < 0.05$) como respuesta al intervalo de riegos y al nivel del nitrógeno. El resultado en peso fresco se obtuvieron diferencias significativas, por efecto del fertilizante, ya que tanto la aplicación de 0 como de 5 gramos fueron estadísticamente superiores, así como el efecto de la interacción del intervalo de riegos y los gramos de nitrógeno donde sí se tuvo diferencias significativas como se muestra en la gráfica 2. La misma tendencia se manifestó en la variable de peso seco, donde presenta diferencias significativas entre el tratamiento de riegos y fertilizante. Puede notarse que a excepción del peso fresco en las variables establecidas en el cuadro de la tabla 1, se presentó una tendencia que a menor intervalos en riegos en este caso 5 (A₁) y 10 (A₂) días tuvieron significativamente los mismos resultados.

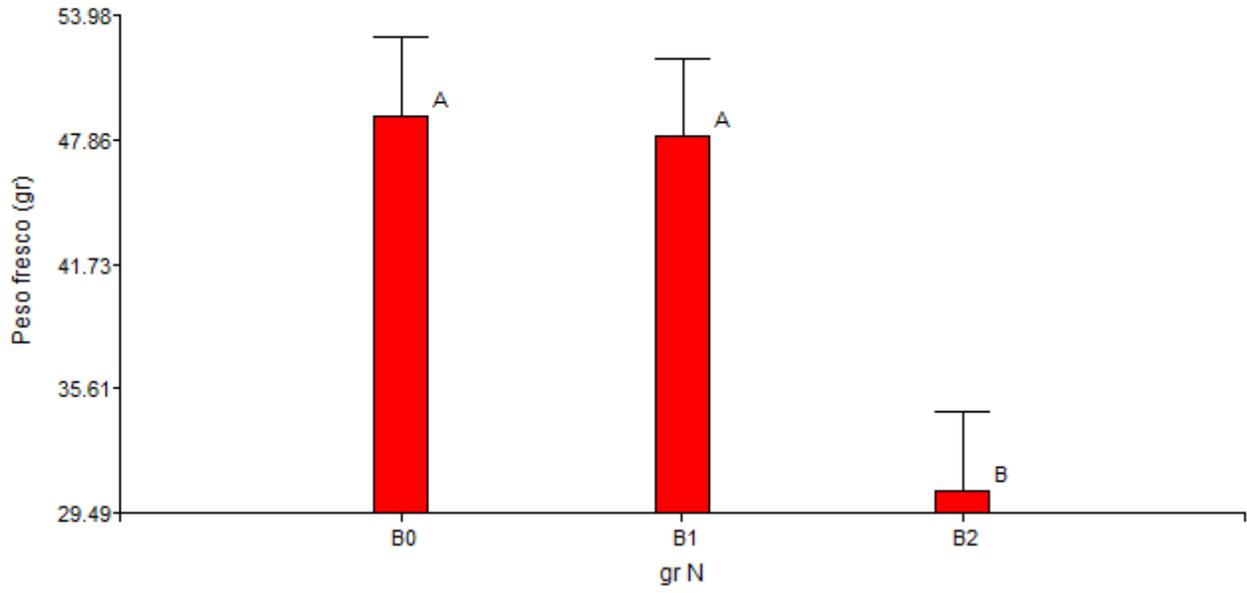
Grafica 1. Rendimiento de peso fresco por intervalo de riego



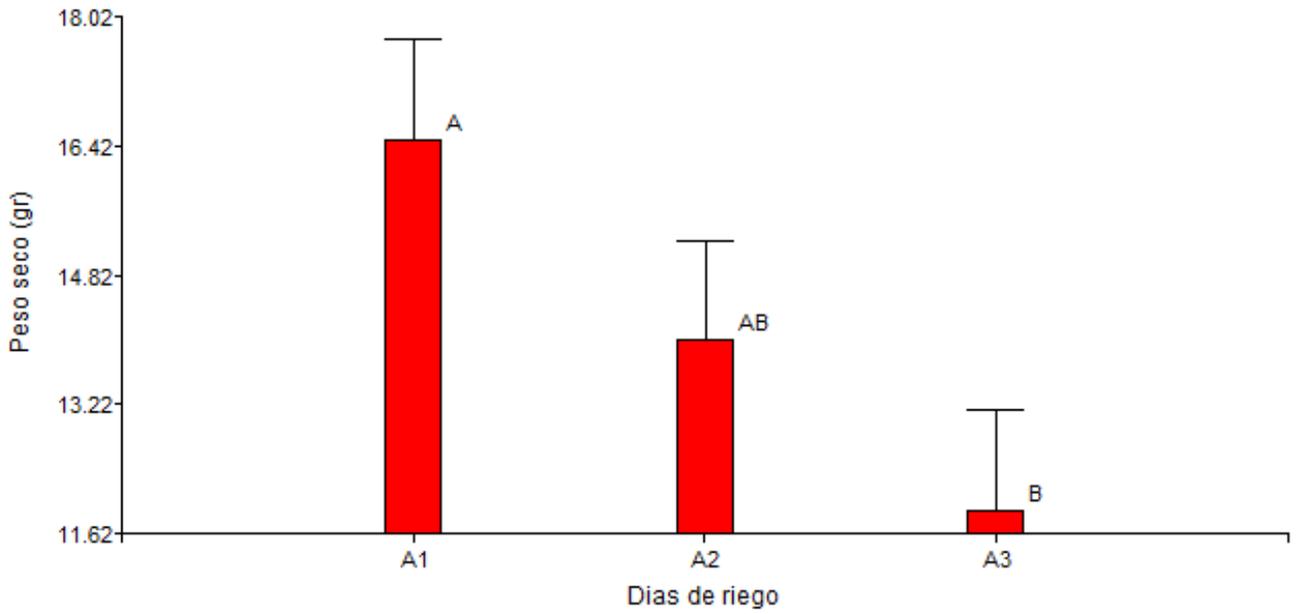
Grafica 2. Interacción del tratamiento con el nitrógeno en peso fresco.



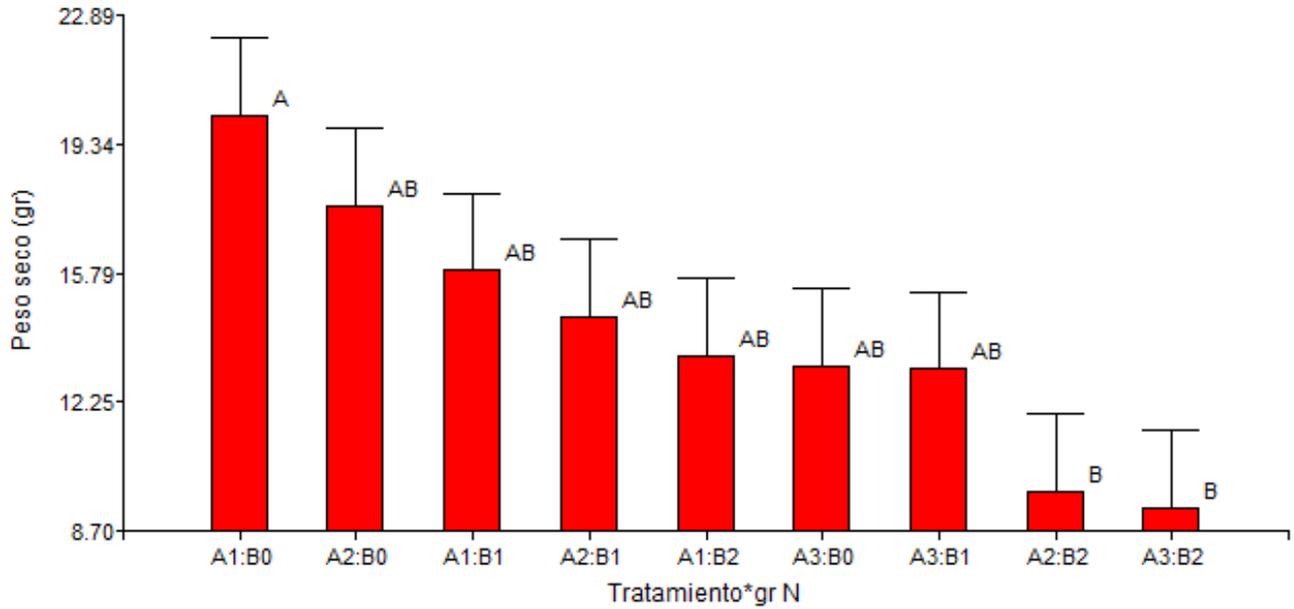
Grafica 3. Rendimiento del peso fresco con diferentes niveles de nitrógeno.



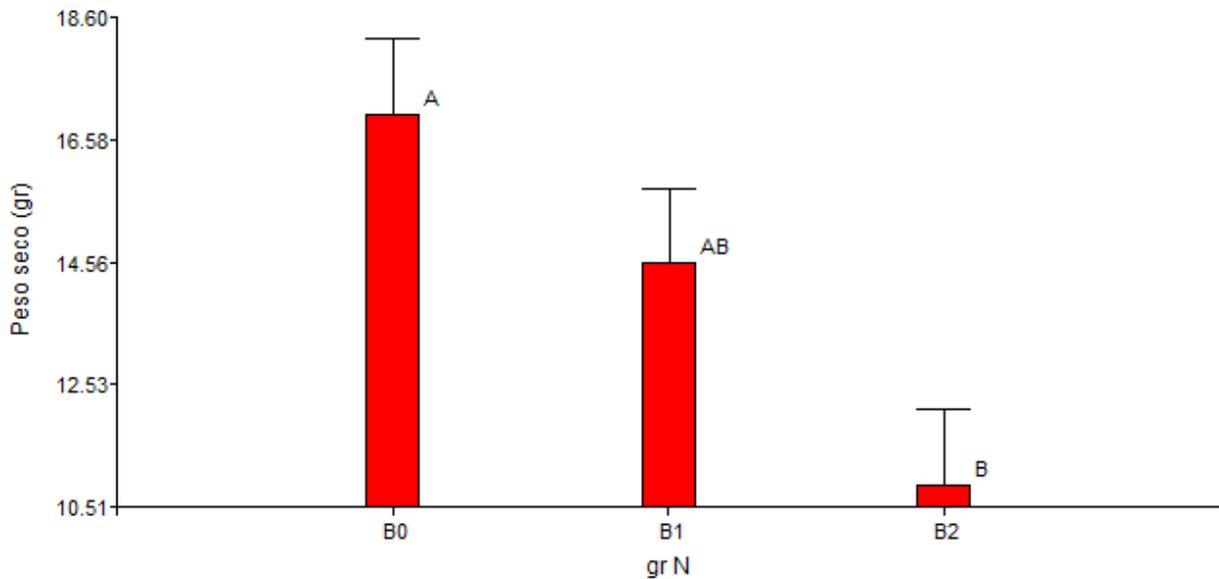
Grafica 4. Rendimiento de peso seco por intervalo de riegos.



Grafica 5. Interacción del tratamiento con el nitrógeno en peso seco.



Grafica 6. Rendimiento de peso seco por intervalo de nitrógeno.



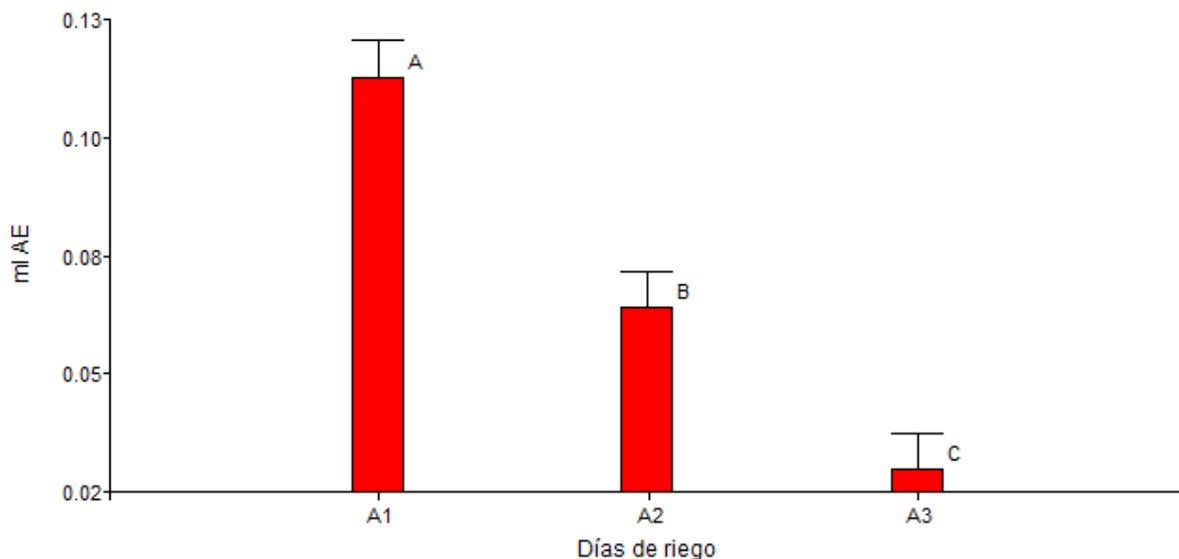
(Sinh *et al.*, 1997) mencionan que la biomasa aumento de acuerdo al intervalo de riegos donde se obtuvieron los valores más altos, sin embargo, el mismo autor cita que descubrió una disminución en la biomasa debido a un aumento en el estrés hídrico. Esto se explica por qué probablemente la

fotosíntesis estaba limitada por un bajo CO₂, debido a un cierre estomático y por lo tanto a una disminución de la fijación del CO₂, también el mismo autor señala que registró aumentos en los niveles de nitrógeno aplicados resultado que no concuerdan con los estudios obtenidos en este experimento.

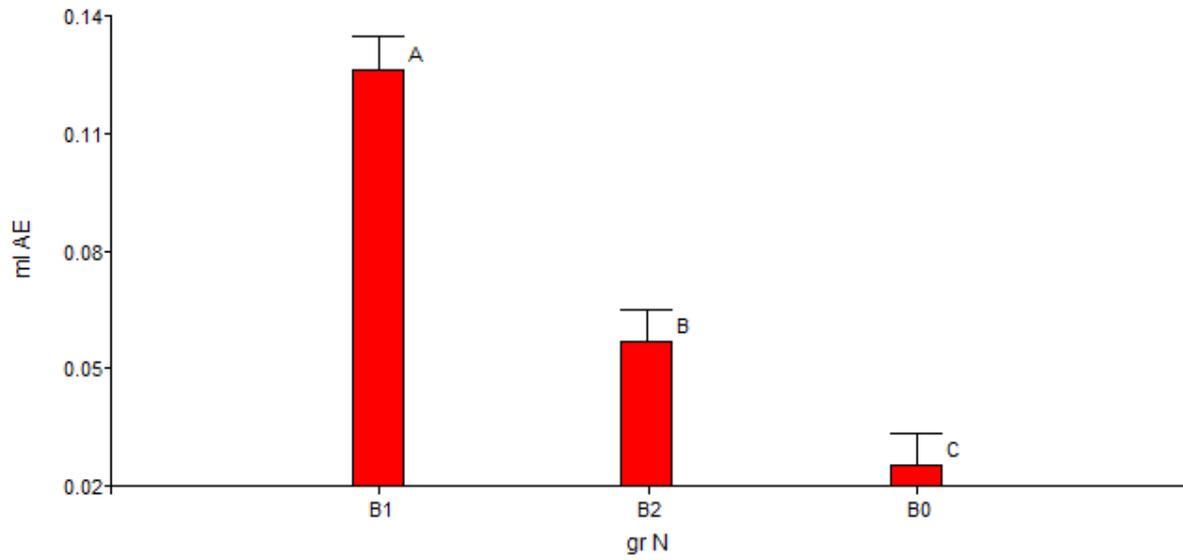
Resultados de Aceite Esencial

En la variable de biosíntesis de aceite esencial los resultados obtenidos, se muestran que tanto el efecto de nitrógeno como intervalo de riegos tuvieron una influencia significativa principalmente en el riego de cada 5 días y la aplicación de 5 gramos de nitrógeno, esto se demuestra en la graficas 7, y 8 de igual manera la interacción de 5 días de riego más 5 g de fertilizante interaccionaron en el mismo sentido, esto demuestra que en su conjunto la humedad y el nitrógeno ofrecen resultados promisorios. Se encontraron diferencias significativas tanto en peso fresco, como peso seco y aceite esencial, tanto en el porcentaje como en ml por tratamiento ($p < 0.05$) tal como se demuestran en las gráficas 9 y 10.

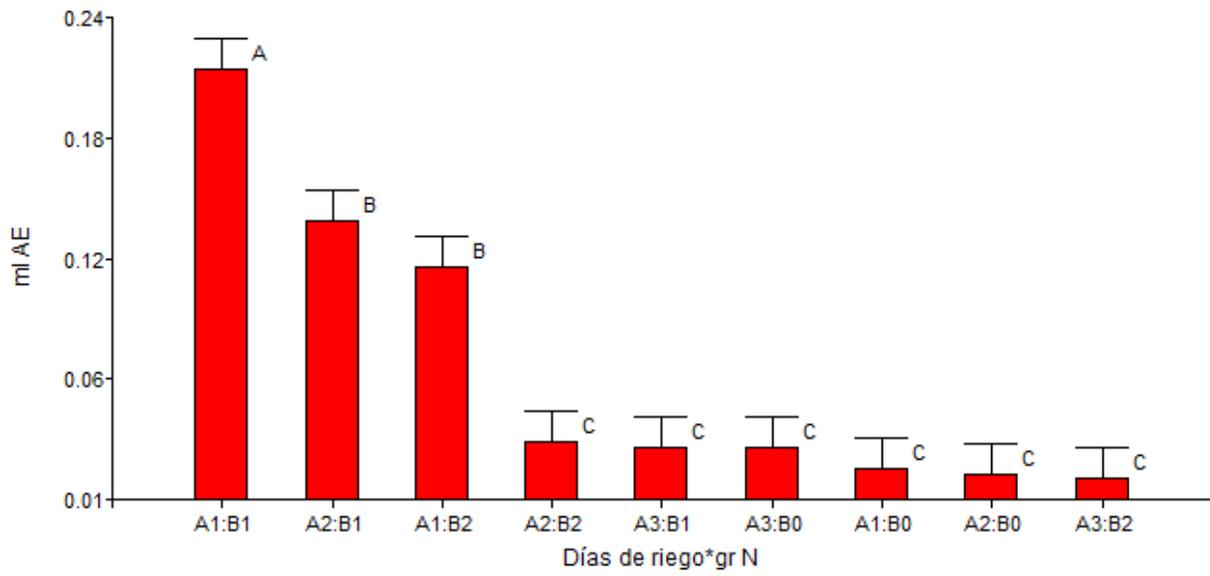
Grafica 7. Rendimiento de ml AE por intervalo de riegos.



Grafica 8. Rendimiento de ml AE por intervalo de Nitrógeno.



Grafica 9. Interacción del tratamiento con el nitrógeno en el AE

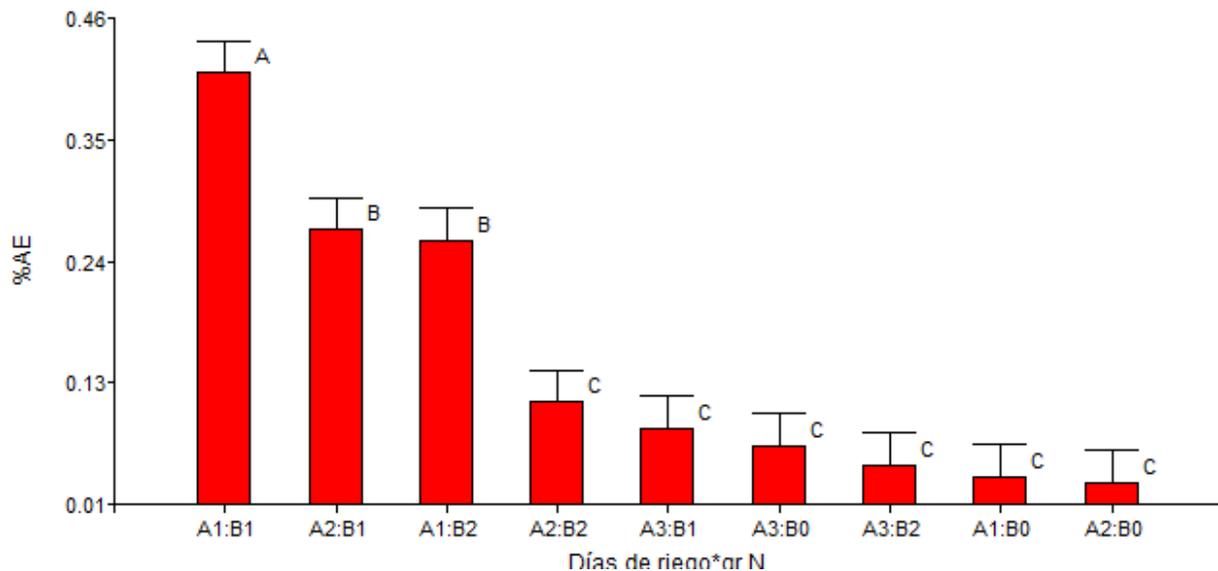


Se aprecia que el tratamiento donde no se aplicó fertilizante (control) y el tratamiento con 5 g, son estadísticamente similares. Esto es probablemente explicado por la relación humedad y aprovechamiento del nitrógeno, donde menciona que la humedad del suelo es un factor importante en la fertilización de los cultivos, ya que influye en la absorción de nutrientes por las plantas. (Susan Parent 2023)

En la variable de aceite esencial por efecto de los niveles de fertilización se observó un efecto similar, a mayor humedad disponible mayor rendimiento en porcentaje y de aceite esencial tal y como se muestran en las gráficas 7 y 8.

El porcentaje de Aceite Esencial donde se observa en la gráfica 10 diferencias estadísticas superiores, en donde se aplicó fertilizante 5 g, el factor de humedad fue determinante, dado que la respuesta obtenida es susceptible de obtener mayores respuestas en el porcentaje de aceite por efecto de humedad.

Gráfica 10. Interacción del tratamiento con el nitrógeno en el AE



Se observase en el grafico 9, que la interacción entre intervalos de riegos y la aplicación de 5 gramos de nitrógeno tuvo el mejor rendimiento en la biosíntesis de aceite esencial.

Esto coincide con lo reportado por (Susan Parent, 2023) que señala la relación humedad y aprovechamiento del nitrógeno, donde menciona que la humedad del suelo es un factor importante en la fertilización de los cultivos, ya que influye en la absorción de nutrientes por las plantas.

Said-Al, H.A.H, Omer E.A y N.Y. Naguib (2009) encontró que los porcentajes de aceite esencial aumentaron más por el efecto de la humedad resultada con los que conceden aquí con los resultados

8. CONCLUSIONES

La influencia del intervalo de riego mostró diferencias significativas en peso fresco y seco total, ya que en las plantas que se regaron cada 5 días se obtuvo el mayor peso y mayor porcentaje de aceite que a diferencia del tratamiento de 10 y 15 días, en los cuales la falta de agua tuvo efectos de disminución muy marcados.

En cuestión de peso fresco no hubo diferencias significativas, mientras que en el peso seco obtenido por efecto del fertilizante nitrogenado fue mayor donde no se aplicó fertilizante, sin embargo, el tratamiento al cual se le aplicó 5 gramos de nitrógeno fue significativamente similar al que no se le aplicó ninguna dosis y el tratamiento de 10 días fue el que menos peso seco se obtuvo.

En el porcentaje y mililitros, se tuvieron diferencias significativas ya que los resultados obtenidos señalan que el mejor tratamiento fue el intervalo de riego cada 5 días, con una diferencia del 30% al tratamiento de 10 días y superando 51% al tratamiento de 15 días.

El análisis estadístico detectó diferencias significativas en la interacción de intervalos de riego, nivel de nitrógeno y de aceite esencial ya que el efecto de la humedad más nitrógeno resultó positivo, logrando mayor cantidad y calidad del mismo.

9. LITERATURA CITADA

- Alarcón BM. 1993. Método práctico para la predicción de rendimiento de hoja seca de orégano. 24p. México
- Aligiannis N, Kalpoutzakis E, Mitaku S, Chinou IB, Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two *Origanum* species. J. Agric. Food Chem. 2001; 49: 4168-4170.
- Azuma K, Ippoushi K, Ito H, Higashio H, Terao J. Evaluation of antioxidative activity of vegetable extracts in linoleic acid emulsion and phospholipid bilayers, J. Sci. Food and Agric. 1999; 79: 2010-2016.
- Baricevik D, Bartol T. In: Oregano. The genera *Origanum* and *Lippia*. Medicinal and Aromatic Plants-Industrial Profiles. Edited by Spiridon E. Kintzios, Athens, Greece. Taylor and Francis. London and New York. 2002. Chap.8. p 177-213
- Benavides MA, Ramirez RH, Robledo TV, Mati R, Cornejo OE, Hernandez DJ, Sandoval RA, Mendoza VR, Samaniego CE, Ramirez MJG, Bacopulos Tellez E, Aguilera CA, Fuentes LLO. 2002. Ecofisiología y bioquímica del Estrés en Plantas. Primera ed. Departamento de Horticultura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo Coahuila.
- Berlanga R.C. A, E.E. Villavicencio G., O.U. Martínez B.Y A. Cano P. 2005 Vegetación asociada al orégano *Lippia graveolens* (HBK) y sus características dasonómicas en algunas comunidades de Coahuila Memorias 2ª REUNION NACIONAL SOBRE OREGANO. CIRENA, Saltaices Chihuahua febrero 2005 Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Primera edición) pp193 -195
- Burt SA, Reinders RD, Antibacterial activity of selected plant essential oils against *Escherichia coli* O157:H7. Lett Applied Microbiol. 2003; 36: 162-167.
- Cameroni, G. (marzo de 2013). Alimentos argentinos. Obtenido de Ficha Técnica de Orégano "*Origanum Vulgare*": https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/contenido/sectores/aromaticas/productos/Oregano_2013_03Mar.pdf
- CONABIO (Comisión Nacional de Biodiversidad) 200. Oregano mexicano Oro vegetal.

Cynthia Cristina Arcila-Lozano, G. L.-P.-U. (marzo de 2004). Scielo. Obtenido de El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000100015

Di Amanda (2019/2020) Farmacología ocular. 0029-01 producción de orégano, universidad nacional autónoma de Nicaragua

El orégano: propiedades, composición y actividad biológica de sus componentes

Elgayyar M, Draughon F., Golden DA, Mount JR. Antimicrobial activity of essential oils from plants against selected pathogenic and saprophytic microorganisms. *J. Food Protect.* 2001; 64 (7): 1019-1024.

Gantet P, Memelink J. 2002. Transcription factors: tools to engineer the production of pharmacologically active plant metabolites. *Trends in Pharmacological. Sciences* 23(12):563-569.

HOPKINS, W. G. 1995. *Introduction to Plant Physiology*. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 464 p.

JONES, J.B. 1998. *Plant Nutrition Manual*. CRS Press. LLC. Boca Raton, USA. 149 p.

Kahkoren MP, Hopia AI, Vuorela HJ, Rauha J-P, Pihlaja, Kujala TS, Heinonen M. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 1999; 47: 3954-3962.

Kessmann H, Hofmann C, Maetzke T, Herzog J, Ward E, S Theo, Uknes S. Ryals J. 1994. Induction of Systemic Acquired Disease Resistance in Plants by Chemicals. *Annual Review of Phytopathology* (32): 439 -459

Kokkini S, Karousou R, Dardioti A, Krigas N, Lanaras T. 1997. Autumn essential oils of greek oregano. *Phytochemistry* 44 (5): 883-886.

Kokkini S, Karousou R. Dardioti A. Krigas N. Lanaras T. 1997 Autumn essential oils of Greek orégano. *Phytochem* 44 (5): 883- 886 Maldonado Rodríguez, J.A. 1998. El orégano silvestre en México, Monografía Licenciatura UAAAN, Buenavista Saltillo Coahuila México.

Levitt, J. 1980. *Respuestas de las plantas al estrés ambiental*. Academic Press, Nueva York, NY.

- MARSCHNER, H. 1998. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Edition. Academic Press Inc. San Diego, USA. 889 p.
- MCINTYRE, G.I. 1997. The role of nitrate in the osmotic and nutritional control of plant development. Australian Journal of Plant Physiology 68: 107-112.
- Melhorn, V., K. Matsumi, H. Koiwai, K. Ikegami, M. Okamoto, E. Nambara, F. Bittner y T. Koshiha. 2008. La expresión transitoria de los genes *atNCED3* y *AAO 3* en células
- MENGEL, K.; KIRKBY, A. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 849 p.
- Moreno-Fonseca, LP y AA Covarrubias. 2001. Se requieren secuencias de ADN posteriores para modular la expresión del gen *Pvlea-18* en respuesta a la deshidratación. Planta Mol. Biol. 45, 501-515.
- Nilsen, ET y DM Orcutt. 1996. Fisiología de plantas bajo estrés. Factores abióticos. John Wiley and Sons, Nueva York, Nueva York.
- Oyervides, F. J. (2012). Efecto De Estrés Inducido Con NaCl, Cu²⁺ Y Fe²⁺ En Biomasa, Timol, Carvacrol Y Prolina En Orégano. San Nicolás De Los Garza, N.L.
- Pascual ME, Slowing K, Carretero E, Sánchez Mata D, Villar A. Lippia: traditional uses, chemistry and pharmacology: A review. J. Ethnopharmacol. 2001: 76, 201-214.
- protectoras provoca el cierre de estomas en *Vicia fava* . J. Planta Res. 121(1), 125-131.
- Schutzendubel A, Polle A. 2002. Plant responses to abiotic stresses heavy metalinduced oxidative stress and production by mycorrhization. Journal Experimental Bottany 53: 1351-1365.
- Sivropoulou A, Papanikolaou E, Nikolaou C, Kokkini S, Lanaras T, Arsenakis M. Antimicrobial and cytotoxic activities of *Origanum* essential oils. J. Agric. Food Chem. 1996; 44: 1202-1205.
- Sivropoulou, A., E. Papanikolaou, C. Nikolaou, S. Kokkini, T. Lanaras y M. Arsenakis, (1996). Antimicrobial and cytotoxic activities of *Origanum* essential oil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 44: 1202-1205

Stohs, S. J. y D. Bagchi, (1995). Oxidative Mechanisms in the Toxicity of Metal Ions Free Radical
Biol. & Medicine 18(2):321-336.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Fisiología vegetal. 4^a ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associated, Inc. Sunderland, USA. 792 p.

Tárrega I, Rivas F. Essential oils from wild and micropropagated plants of *Origanum bastetanum*.
Phytochem. 1998; 48 (8): 1347-1349.

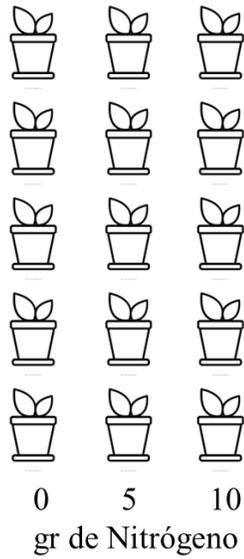
Ultee A, Kets EPW, Alberda M, Hoekstra FA, Smid EJ. Adaptation of food-borne pathogen
Bacillus cereus to carvacrol. Arch. Microbiol. 2000; 174: 233-238.

10. ANEXOS.

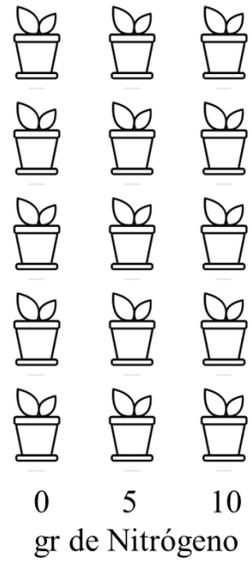
Distribución del experimento en el invernadero.



5 días



10 días



15 días

Ilustración 2. Distribución del experimento en el invernadero

ANOVA

Rendimiento e interacción de los tratamientos en peso fresco

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Peso fresco (gr) | 45 | 0.37 | 0.23 | 35.20 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|----------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 4781.60 | 8 | 597.70 | 2.67 | 0.0208 |
| Tratamiento | 598.93 | 2 | 299.47 | 1.34 | 0.2757 |
| gr N | 3211.60 | 2 | 1605.80 | 7.16 | 0.0024 |
| Tratamiento*gr N | 971.07 | 4 | 242.77 | 1.08 | 0.3795 |
| Error | 8071.60 | 36 | 224.21 | | |
| Total | 12853.20 | 44 | | | |

Rendimiento de peso fresco por intervalo de riego.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=13.36448

Error: 224.2111 gl: 36

Tratamiento Medias n E.E.

A1 47.07 15 3.87 A

A2 42.40 15 3.87 A

A3 38.13 15 3.87 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Rendimiento de peso fresco por niveles de nitrógeno

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=13.36448

Error: 224.2111 gl: 36

gr N Medias n E.E.

B0 49.00 15 3.87 A

B1 48.00 15 3.87 A

B2 30.60 15 3.87 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=31.22406

Error: 224.2111 gl: 36

| Tratamiento | gr | N | Medias | n | E.E. |
|-------------|----|-------|--------|------|------|
| A2 | B0 | 54.00 | 5 | 6.70 | A |
| A2 | B1 | 52.00 | 5 | 6.70 | A B |
| A1 | B0 | 51.00 | 5 | 6.70 | A B |
| A1 | B1 | 50.20 | 5 | 6.70 | A B |
| A3 | B0 | 42.00 | 5 | 6.70 | A B |
| A3 | B1 | 41.80 | 5 | 6.70 | A B |
| A1 | B2 | 40.00 | 5 | 6.70 | A B |
| A3 | B2 | 30.60 | 5 | 6.70 | A B |
| A2 | B2 | 21.20 | 5 | 6.70 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Rendimiento e interacción de los tratamientos en peso seco

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Peso seco (gr) | 45 | 0.37 | 0.23 | 33.67 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|------------------|---------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 476.68 | 8 | 59.59 | 2.63 | 0.0223 |
| Tratamiento | 158.13 | 2 | 79.06 | 3.49 | 0.0412 |
| gr N | 284.81 | 2 | 142.41 | 6.28 | 0.0046 |
| Tratamiento*gr N | 33.75 | 4 | 8.44 | 0.37 | 0.8268 |
| Error | 815.86 | 36 | 22.66 | | |
| Total | 1292.54 | 44 | | | |

Rendimiento de peso seco por intervalo de riego.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.24893

Error: 22.6627 gl: 36

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|----|------|
| A1 | 16.50 | 15 | 1.23 |
| A2 | 14.01 | 15 | 1.23 |
| A3 | 11.91 | 15 | 1.23 |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Rendimiento de peso seco por niveles de nitrógeno

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.24893

Error: 22.6627 gl: 36

gr N Medias n E.E.

| | | | | |
|----|-------|----|------|-----|
| B0 | 17.00 | 15 | 1.23 | A |
| B1 | 14.54 | 15 | 1.23 | A B |
| B2 | 10.88 | 15 | 1.23 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=9.92697

Error: 22.6627 gl: 36

Tratamiento gr N Medias n E.E.

| | | | | | |
|----|----|-------|---|------|-----|
| A1 | B0 | 20.12 | 5 | 2.13 | A |
| A2 | B0 | 17.65 | 5 | 2.13 | A B |
| A1 | B1 | 15.87 | 5 | 2.13 | A B |
| A2 | B1 | 14.60 | 5 | 2.13 | A B |
| A1 | B2 | 13.50 | 5 | 2.13 | A B |
| A3 | B0 | 13.25 | 5 | 2.13 | A B |
| A3 | B1 | 13.14 | 5 | 2.13 | A B |
| A2 | B2 | 9.80 | 5 | 2.13 | B |
| A3 | B2 | 9.34 | 5 | 2.13 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ml Aceite esencial (AE) por efecto de nitrógeno y días de tratamiento.

Análisis de la varianza

| <u>Variable</u> | <u>N</u> | <u>R²</u> | <u>R² Aj</u> | <u>CV</u> |
|-----------------|----------|----------------------|-------------------------|-----------|
| ml AE | 45 | 0.83 | 0.80 | 48.90 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------------|------|----|---------|-------|---------|
| Modelo | 0.20 | 8 | 0.03 | 22.58 | <0.0001 |
| Días de riego | 0.06 | 2 | 0.03 | 28.61 | <0.0001 |
| gr N | 0.09 | 2 | 0.04 | 38.73 | <0.0001 |
| Días de riego*gr N | 0.05 | 4 | 0.01 | 11.50 | <0.0001 |
| Error | 0.04 | 36 | 1.1E-03 | | |
| Total | 0.24 | 44 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02992

Error: 0.0011 gl: 36

Días de riego Medias n E.E.

| | | | | |
|----|------|----|------|---|
| A1 | 0.12 | 15 | 0.01 | A |
| A2 | 0.06 | 15 | 0.01 | B |
| A3 | 0.03 | 15 | 0.01 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02992

Error: 0.0011 gl: 36

gr N Medias n E.E.

| | | | | |
|----|------|----|------|---|
| B1 | 0.13 | 15 | 0.01 | A |
| B2 | 0.06 | 15 | 0.01 | B |
| B0 | 0.02 | 15 | 0.01 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06990

Error: 0.0011 gl: 36

Días de riego gr N Medias n E.E.

| | | | | | |
|----|----|------|---|------|---|
| A1 | B1 | 0.21 | 5 | 0.01 | A |
| A2 | B1 | 0.14 | 5 | 0.01 | B |
| A1 | B2 | 0.12 | 5 | 0.01 | B |
| A2 | B2 | 0.03 | 5 | 0.01 | C |
| A3 | B1 | 0.03 | 5 | 0.01 | C |
| A3 | B0 | 0.03 | 5 | 0.01 | C |
| A1 | B0 | 0.02 | 5 | 0.01 | C |
| A2 | B0 | 0.02 | 5 | 0.01 | C |
| A3 | B2 | 0.02 | 5 | 0.01 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)