



INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DEL RIEGO EN EL CRECIMIENTO DE ORÉGANO (*Lippia graveolens* HKB)

INFLUENCE OF IRRIGATION FREQUENCY ON OREGANO (*Lippia graveolens* HKB) GROWTH

Magdalena Villa-Castorena¹; Ernesto A. Catalán-Valencia¹; Jesús Guadalupe Arreola-Ávila²; Marco A. Inzunza-Ibarra¹; Abel Román López¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CENID-RASPA. km 6.5 Margen Derecha Canal Sacramento. Gómez Palacio, Dgo. C. P. 35140. MÉXICO. Correo-e: villa.magdalena@inifap.gob.mx (¹Autor para correspondencia)

²Universidad Autónoma de Chapingo. Unidad Regional de Zonas Áridas, Bermejillo, Dgo., MÉXICO.

RESUMEN

El orégano (*Lippia graveolens* HKB) es una especie nativa de las zonas áridas por lo que puede ser un cultivo alternativo para las regiones con baja disponibilidad de agua. En este estudio se evaluaron los efectos de cuatro frecuencias de riego (cada 30, 45 y 60 días, y un riego al momento del trasplante) con riego solamente en el trasplante (T1, T2, T3 y T4, respectivamente) en el crecimiento y la eficiencia de uso de agua. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. A partir de un almácigo, en condiciones de invernadero, a los 85 días después de la siembra se llevó a cabo el trasplante aplicando una lámina de riego de 15 cm. La respuesta al riego sucedió a los 110 días después del trasplante (ddt). Los valores más altos del índice de área foliar, biomasa seca de hojas, biomasa total por planta y tasa de crecimiento de la planta se alcanzaron al final del estudio, con los máximos valores obtenidos en los tratamientos T1 y T2. Los tratamientos T2 y T4 fueron más eficientes en el uso del agua. Los resultados anteriores sugieren que las plantas de orégano no requieren de riegos frecuentes en las primeras etapas de su crecimiento.

Recibido: 11 de octubre, 2010
Aceptado: 09 de noviembre, 2010
doi: 10.5154/r.rchscfa.2010.10.088
www.chapingo.mex/revistas

PALABRAS CLAVE:

Biomasa seca total, tasa de asimilación neta, eficiencia en el uso del agua.

ABSTRACT

Oregano (*Lippia graveolens* HKB) is a species native to arid areas and thus it can be an alternative crop for areas with low water availability. This study evaluated the effects of four irrigation frequencies (every 30, 45 and 60 days, and a single watering at the time of transplanting (T1, T2, T3 and T4, respectively) on growth and water use efficiency. The experimental design was randomized blocks with four replications. At 85 days after sowing in a greenhouse nursery, the seedlings were transplanted and a water depth of 15 cm was applied. The response to irrigation occurred at 110 days after transplanting (dat). The highest values of leaf area index, leaf dry biomass, total plant biomass and plant growth rate were reached at the end of the study, with maximum values obtained in T1 and T2. Treatments T2 and T4 were more efficient in water use. The above results suggest that oregano plants do not require frequent watering in the early stages of growth.

KEY WORDS: total dry biomass, net assimilation rate, water use efficiency

INTRODUCCIÓN

El orégano es una especie nativa de las zonas áridas de México donde se recolecta y se comercializa para generar ingresos a las familias de esos lugares. Es una especie aromática con gran potencial económico, ya que tiene demanda a nivel internacional por sus usos en la industria farmacéutica y cosmética (Silva, 2003). Actualmente se estudian y prueban sus propiedades como conservador de alimentos, anticancerígeno, plaguicida y antimicrobiano (Martínez-Rocha *et al.*, 2008; Zheng y Wang, 2001). También se estudia la composición química del tallo de orégano por su contenido importante de flavonoides que pueden contribuir al de-

INTRODUCTION

Oregano is a species native to arid areas of Mexico where it is collected and sold to generate income for families living in these places. It is an aromatic species with great economic potential as it is in demand internationally for its uses in the pharmaceutical and cosmetic industries (Silva, 2003). Currently, its food preservative, anti-carcinogenic, pesticide and antimicrobial properties are being studied and tested (Martínez-Rocha *et al.*, 2008; Zheng and Wang, 2001). In addition, the chemical composition of the oregano stem is being studied for its significant flavonoid content which may lead to the development of new compounds with applications in agriculture and medicine

sarrollo de nuevos compuestos con aplicaciones en la agronomía y medicina (González *et al.*, 2007) lo cual le da aún más importancia.

México es uno de los países con mayor producción de orégano, con alrededor de 4,000 toneladas anuales, y uno de los mayores exportadores de esta especie, superado sólo por Turquía (Huerta, 1997). Debido a la composición química de sus aceites esenciales, el orégano mexicano es considerado como el de más alta calidad, lo que le ha permitido un mayor despegue a su comercialización en los últimos años. El costo promedio de la hoja seca de orégano por kilo varía de 8 a 11 pesos (CONAFOR, 2007).

La búsqueda de nuevas alternativas de producción agrícola en las zonas áridas de México tiene que contemplar tecnologías que permitan hacer un mejor uso del agua y especies tolerantes a la sequía. Dentro de estas últimas se encuentran las especies nativas de estas zonas, como lo es el orégano que por estar adaptado a baja disponibilidad de agua representa una opción viable para su explotación como cultivo. Por lo tanto, es importante realizar estudios sobre la respuesta del orégano a diferentes condiciones y prácticas agronómicas como es el manejo de riego. A través de esta práctica se incrementa la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos, debido al aumento en el índice de área foliar y fotosíntesis (Escalante-Estrada, 1999; Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). La magnitud del área foliar por unidad de superficie (IAF) junto con la tasa de asimilación neta (TAN) determinan en gran medida la acumulación de materia seca por planta (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1982).

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la frecuencia de riegos sobre el índice de área foliar, producción de biomasa seca de hojas, producción de biomasa total, tasa de crecimiento de la planta, tasa de asimilación neta, producción y eficiencia de uso de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio y características del suelo

El estudio se realizó en el campo experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la relación Agua Suelo Planta del INIFAP, localizado en Gómez Palacio, Dgo. (25° 30' N, 104° O y 1,135 m de altitud), con temperatura máxima y mínima media anual de 28.6 y 12.3 °C, respectivamente. La precipitación y evaporación acumulada anual es de 215 y 2,488 mm, respectivamente (Villa y Catalán, 2002). El suelo es de textura franco arcillo limoso, con una capacidad de campo de 30.43 % y punto de marchitez permanente de 14.16 % con base en el peso, densidad aparente de 1.29 g·cm⁻³; contenido de materia orgánica de 1 %, pH de 7.9, conductividad eléctrica de 3.2 dS·m⁻¹ en los primeros 30 cm del perfil.

(González *et al.*, 2007), giving it even more importance.

Mexico is one of the biggest producers of oregano, with about 4,000 tons per year, and one of the largest exporters of this species, exceeded only by Turkey (Huerta, 1997). Due to the chemical composition of its essential oils, Mexican oregano is considered to be of the highest quality, which has given it a major marketing boost in recent years. The average cost of the dried oregano leaf per kilo varies from 8 to 11 pesos (CONAFOR, 2007).

The search for new alternatives for agricultural production in the arid areas of Mexico has to look at technologies that make better use of water and/or drought-tolerant species. Among the latter are species native to these areas, such as oregano, which being adapted to low water availability represents a viable option for use as a crop. Therefore, it is important to carry out studies on the response of oregano to different agricultural conditions and practices such as irrigation management. This practice increases biomass production and crop yields due to increased leaf area index and photosynthesis (Escalante-Estrada, 1999; Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). The magnitude of the leaf area index (LAI) together with the net assimilation rate (NAR) largely determines the accumulation of plant dry matter (Escalante-Estrada and Kohashi-Shibata, 1982).

The aim of this study was to determine the effect of irrigation frequency on leaf area index, leaf dry biomass production, total biomass production, plant growth rate, net assimilation rate, production and water use efficiency.

MATERIALS AND METHODS

Study area and soil characteristics

The study was conducted in the experimental field at INIFAP's National Center for Disciplinary Research on the Water Soil Plant relationship, located in Gómez Palacio, Durango (25° 30' N, 104° W and 1,135 m high), with an average annual maximum and minimum temperature of 28.6 and 12.3 °C, respectively. The cumulative annual precipitation and evaporation is 215 and 2,488 mm, respectively (Villa and Catalán, 2002). The soil is silty clay loam with a field capacity of 30.43 % and a permanent wilting point of 14.16 % based on weight, bulk density of 1.29 g·cm⁻³, 1 % organic matter content, pH 7.9, and electrical conductivity of 3.2 dS·m⁻¹ in the first 30 cm of the profile.

Study factors and experimental design

Four irrigation frequencies were studied: T1 (irrigation every 30 days), T2 (irrigation every 45 days), T3 (irrigation every 60 days) and T4 (only one watering in the transplantation). The experimental design was randomized blocks with four replications, while the experi-

Factores de estudio y diseño experimental

Se estudiaron cuatro frecuencias de riego: T1 (riego cada 30 días), T2 (riego cada 45 días) T3 (riego cada 60 días) y T4 (riego sólo en el establecimiento). El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental fue de 5 x 7 m, donde se tuvieron seis surcos separados a 80 cm.

Labores Agronómicas

El almácigo se estableció en bolsas de plástico negro de 10 x 15 cm y volumen de 712 cm³ en mayo del 2009 en un invernadero cubierto de policarbonato en sus cuatro lados y el techo con polietileno. La ventilación se hizo por medio de extractores colocados en la parte lateral. La semilla se trató con ácido giberélico a una concentración de 250 ppm y un tiempo de inmersión de 12 h, se pusieron tres semillas en cada bolsa llena con la mezcla de turba con arena (1:1, v:v). Las plántulas se regaron con agua hasta la aparición de las primeras hojas verdaderas, después con una solución nutrimental a una concentración de 20-40-30 mg·L⁻¹ de N, P y K, respectivamente. Los riegos se dieron cada dos o tres días según las condiciones ambientales con un sistema de aspersión tipo nebulizador.

A los 85 días después de la siembra y cuando la planta tenía una altura de 15 cm se llevó a cabo el trasplante en seco e inmediatamente se aplicó un riego para humedecer a una profundidad de 60 cm (15 cm de lámina de agua); la distancia entre plantas fue de 50 cm. Los riegos se aplicaron con una manguera de 1 1/2" de diámetro, previamente aforada y la lámina de agua aplicada en cada riego fue de 10 cm.

Variables Evaluadas y Análisis de Resultados

Se hicieron muestreos destructivos de cuatro plantas por tratamiento, una en cada repetición a los 10, 50, 80, 110, 140, 260, 320 y 380 días después del trasplante (ddt), se midió la altura por planta, el área foliar, la biomasa de hojas y tallo por planta. Para obtener el peso seco, se colocó el material vegetal en una estufa con circulación de aire forzado a 68 °C, por 72 h, no se incluyó al sistema radical. El área foliar se determinó mediante un integrador electrónico de área, modelo Li-3100 (Licor, Inc. Lincoln, NE, EE UU) y el índice de área foliar (IAF) se calculó mediante la relación entre el área foliar por planta y el área o superficie que ocupa una planta en el terreno. También se estimaron la eficiencia en el uso del agua (EUA, kg·m⁻³), tasa de crecimiento de la planta promedio (TCP·g⁻¹·d⁻¹) y tasa de asimilación neta promedio (TAN, mg·cm⁻²·d⁻¹) mediante las siguientes expresiones:

$$EUA = \frac{\text{Biomasa total por planta}}{\text{Lámina de agua aplicada}} \dots\dots\dots(1)$$

mental unit was 5 x 7 m with six rows 80 cm apart.

Agricultural Work

The nursery was established in 10 x 15 cm, 712 cm³ volume black plastic bags in May 2009 in a greenhouse covered with polycarbonate on all four sides and a polyethylene roof. Ventilation was by means of extractors placed on the side. The seed was treated with gibberellic acid at a concentration of 250 ppm and a soak time of 12 h; three seeds were deposited in each bag, filled with a mixture of peat with sand (1:1, v:v). The seedlings were watered until the appearance of the first green leaves and afterwards with a nutrient solution at a concentration of 20-40-30 mg·L⁻¹ of N, P and K, respectively. Irrigation was performed every two or three days depending on environmental conditions with a spray-type sprinkler system.

At 85 days after sowing and when the plant had a height of 15 cm, the transplant was carried out in dry and immediately afterwards water was applied to moisten the soil to a depth of 60 cm (15 cm water depth); the distance between plants was 50 cm. The irrigation treatments were applied with a 1 1/2"-diameter hose, which had been previously calibrated, and a water depth of 10 cm was applied at each treatment.

Evaluated Variables and Results Analysis

Destructive samplings were made from four plants per treatment, one in each replication at 10, 50, 80, 110, 140, 260, 320 and 380 days after transplanting (dat); plant height, leaf area, and leaf and stem biomass per plant were measured. For dry weight, plant material (except for the root system) was placed in an oven with forced air circulation at 68 °C for 72 h. Leaf area was determined using a LI-COR electronic leaf area meter, model LI-3100, and leaf area index (LAI) was calculated using the ratio between leaf area per plant and the area occupied by a plant in the ground. Also, water use efficiency (WUE, kg·m⁻³), average plant growth rate (PGR·g⁻¹·d⁻¹) and average net assimilation rate (NAR, mg·cm⁻²·d⁻¹) were estimated using the following expressions:

$$WUE = \frac{\text{Total plant biomass}}{\text{Water depth applied}} \dots\dots\dots(1)$$

$$PGR = \frac{(DW2 - DW1)}{T2 - T1} \dots\dots\dots(2)$$

$$NAR = \frac{(DW2-DW1)[LN(LA2)-LN(LA1)]}{(T2-T1)(LA2-LA1)} \dots\dots\dots(3)$$

Where: NL = natural logarithm, DW1 and DW2 = dry weight at the beginning and end of the time interval, LA1 and LA2 = leaf area at the beginning and end of the time interval, T1 and T2 = days after transplanting at the

$$TCP = \frac{(PS2 - PSI)}{T2 - T1} \dots\dots\dots(2)$$

$$TAN = \frac{(PS2-PSI)[LN(AF2)-LN(AF1)]}{(T2-T1)(AF2-AF1)} \dots\dots\dots(3)$$

donde: LN = logaritmo natural, P1 y P2 = peso seco al inicio y final del intervalo de tiempo, AF1 y AF2 = área foliar al inicio y final del intervalo, T1 y T2 = días después del trasplante al inicio y final del período de muestreo. Durante el ciclo de crecimiento del cultivo, se registraron también las temperaturas máxima (T_{máx}, °C) y mínima (T_{mín}, °C), precipitación (pp, mm) y evaporación acumuladas (Ev, mm).

Las variables de respuesta se analizaron a través del tiempo mediante el Proc mixed del sistema estadístico SAS®, Versión 6 (SAS Institute, 1999); y a las que mostraron diferencias significativas se les realizó una prueba de comparación de medias (Tukey, P = 0.05), mediante este mismo sistema.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones ambientales

En la Figura 1 se observa que la temperatura del aire presentó un descenso con el tiempo hasta alcanzar su mínimo valor a los 170 días después del trasplante que correspondió a la primer decena de enero, con una T_{máx} y T_{mín} promedio de 16.01 y 3.61 °C, después de esa fecha tiende a incrementar hasta alcanzar sus máximos valores a partir de los 290 ddt que corresponde a la primer decena de mayo. La precipitación, aun cuando por su naturaleza es variable, fue bastante atípica durante el periodo de estudio y se acumularon 405 mm. La evaporación acumulada en ese mismo período fue de 2,884 mm.

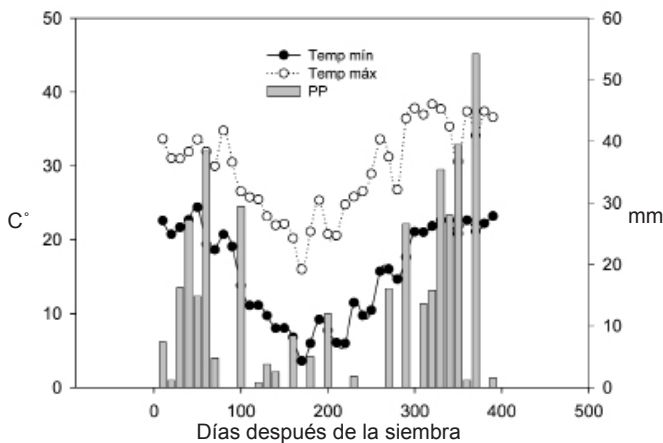


FIGURA 1. Temperatura máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) (promedio decenal) y precipitación (acumulada decenal) durante el periodo de estudio.

FIGURE 1. Ten-day average maximum and minimum temperatures (T_{max} and T_{min}, respectively) and ten-day cumulative precipitation during the study period.

beginning and end of the sampling period. During the crop growth cycle, maximum and minimum temperatures (T_{max} °C and T_{min} °C, respectively), precipitation (pp, mm) and cumulative evaporation (Ev, mm) were also recorded.

Response variables were analyzed over time using the SAS® Proc Mixed statistical system, Version 6 (SAS Institute, 1999), and those that showed significant differences underwent a comparison of means test (Tukey, P=0.05) using this system.

RESULTS AND DISCUSSION

Environmental Conditions

Figure 1A shows that air temperature decreased over time until reaching its minimum value at 170 days after transplanting, corresponding to the first ten days of January, with an average T_{max} and T_{min} of 16.01 and 3.61 °C; thereafter it tended to increase until reaching its maximum values from 290 dat, which corresponds to the first ten days of May. Precipitation, although variable by nature, was quite unusual during the study period, with 405 mm of cumulative rainfall. Cumulative evaporation during the same period was 2,844 mm.

Irrigation applied

The number of irrigations and the applied water depth differed at each sampling date for each of the treatments so that the soil moisture conditions were also different. The wettest treatment (T1) had 1.42, 1.8 and 5.4 times the water depth applied in T2, T3 and T4, respectively (Table 1).

Plant height

Irrigation treatments, sampling time and the interaction of these two variables significantly (P<0.01) affected plant height.

Plant growth was similar in the four irrigation treatments until 80 dat; thereafter irrigation frequency had an impact on plant height (Figure 2). At 110 dat, T2 showed the greatest height, being 24 % taller than the average height of the three other treatments. In the following three samplings, this same treatment and T1 produced the tallest plants, followed by T3 and lastly the treatment with the least irrigations (T4). At the end of the study, plant growth was greater as more water was applied.

Plant height over time increased in each one of the treatments up to 140 dat; thereafter and until 320 dat growth stopped, resuming again at the end of the study (Figure 2). The interruption in growth during the period from 140 to 320 dat occurred because during that time

Riegos aplicados

El número de riegos así como la lámina de agua aplicada difirió en cada fecha de muestreo para cada uno de los tratamientos de tal forma que las condiciones de humedad del suelo también fueron diferentes. El tratamiento más húmedo (T1) tuvo un 1.42, 1.8 y 5.4 veces más de lámina de agua aplicada que los T2, T3 y T4, respectivamente (Cuadro 1).

Altura de Planta

Los tratamientos de riego, el tiempo de muestreo, así como la interacción de ambas variables afectaron de manera significativa ($P<0.01$) a la altura de planta.

El crecimiento de la planta fue similar en los cuatro tratamientos de riego hasta los 80 ddt, después de ese tiempo la frecuencia de riego impactó en la altura de planta (Figura 2). A los 110 ddt, el T2 mostró la máxima altura con un 24 % más que la altura promedio de los otros tres tratamientos. En los siguientes tres muestreos este mismo tratamiento y el T1 produjeron las plantas más altas, enseguida el T3 y finalmente el tratamiento con menos riegos (T4). Al final del estudio, el crecimiento de la planta fue mayor a medida que se aplicaron más riegos.

La altura de planta a través del tiempo se incrementó en cada uno de los tratamientos hasta los 140 ddt, después de ese tiempo y hasta los 320 ddt el crecimiento se detuvo, reanudándose nuevamente al final del estudio (Figura 2). La interrupción en el crecimiento durante el período de los 140 a los 320 ddt se debió a que durante ese tiempo se presentó el invierno y las temperaturas mínimas disminuyeron por debajo de los cero grados, principalmente en la primera decena de enero. Además durante ese período se registró una granizada que dañó parcialmente al cultivo.

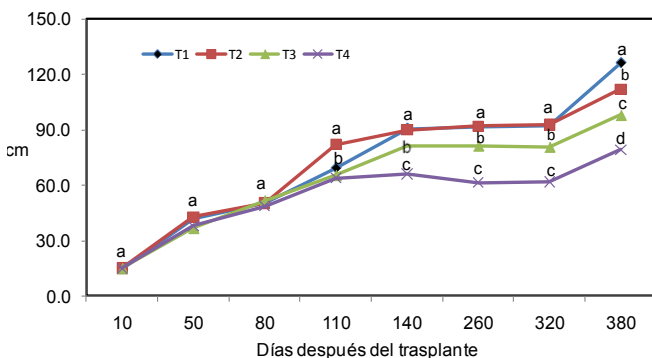


FIGURA 2. Altura de planta a través del tiempo en cada uno de los tratamientos de riego. Las letras indican la comparación de medias dentro de cada fecha de muestreo de acuerdo a la prueba de Tukey, a una $P=0.05$.

FIGURE 2. Plant height over time in each of the irrigation treatments. The letters indicate the comparison of means at each sampling date according to Tukey's test at $P=0.05$.

CUADRO 1. Número de riegos (NR) y lámina de agua aplicada acumulada en cada una de las fechas de muestreo

TABLE 1. Number of irrigations (expressed below by the Spanish acronym NR) and cumulative applied water depth at each of the sampling dates.

Trat		Días después del trasplante							
		10	50	80	110	140	260	320	380
T1	NR	1	2	3	4	5	9	11	13
	LA (cm)	15	25	35	45	55	95	115	135
T2	NR	1	2	2	3	4	6	8	9
	LA (cm)	15	25	25	35	45	65	85	95
T3	NR	1	1	2	2	3	5	6	7
	LA (cm)	15	15	25	25	35	55	65	75
T4	NR	1	1	1	1	1	1	2	2
	LA (cm)	15	15	15	15	15	15	25	25

winter came and minimum temperatures dropped below zero degrees, mainly in the first ten days of January. Also during this period there was a hailstorm that partially damaged the crop.

Leaf area index (LAI)

The effects of sampling date, irrigation frequency and interaction of these two factors on LAI were highly significant ($P<0.01$). Differences among irrigation treatments at each sampling date were evident up to 110 dat (Figure 3), when the treatment that had not been irrigated (T4) showed only 42 % of the average LAI of the treatments that had been irrigated (T1, T2 and T3). The latter three were statistically similar (Tukey, $P=0.05$). This behavior continued until 260 dat, indicating that oregano does not require frequent watering at this stage of its development, as it responded similarly to irrigation every 30, 45 or 60 days. Later, in the last two samplings (320 and 360 dat), the treatments that were watered more often (T1 and T2) produced greater LAI with a 0.77 average at the end of the study, which was 33 and 120 % higher than that observed in T3 and T4, respectively.

LAI showed four significant increases (Tukey, $P=0.05$) over time in treatments T1, T2 and T3 (Figure 3). In the period 10-80 dat, when the plant was adapting to field conditions and growth was slow, the average LAI value of the three treatments was 0.04. From 110 to 260 dat, LAI increased compared to the previous period, with an average value of 0.23 for the three treatments. At 320 and 380 dat, LAI is higher than in the other periods with its maximum value being in the last sampling when the most-frequent irrigation treatments (T1 and T2), on average, exceeded T3 by 32 %. In T4, LAI increased significantly (Tukey, $P=0.05$) after 260 dat because at 265 dat an additional 10 cm of water depth was applied.

The relationship between LAI at the end of the study and the total applied water depth was quadratic (Figure 4), which indicates that there is a maximum LAI co-

Índice de área Foliar (IAF)

Los efectos de la fecha de muestreo, frecuencias de riego y la interacción de ambos factores sobre el IAF fueron altamente significativos ($P < 0.01$). Las diferencias entre los tratamientos de riego en cada fecha de muestreo se hicieron evidentes hasta los 110 ddt (Figura 3), cuando el tratamiento que no había sido regado (T4) mostró sólo el 42 % del IAF promedio de los tratamientos que habían recibido riego (T1, T2 y T3). Estos últimos tres fueron estadísticamente similares entre ellos (Tukey, $P = 0.05$). Este comportamiento se mantuvo hasta los 260 ddt, indicando que el orégano no requiere de riegos frecuentes en esta etapa de su desarrollo, ya que respondió de manera similar al riego cada 30, 45 o 60 días. Más tarde, en los dos últimos muestreos (320 y 360 ddt), los tratamientos que se regaron más seguido (T1 y T2) produjeron mayor IAF con un promedio de 0.77 al final del estudio, el cual fue superior en un 33 y 120 % que el observado en los T3 y T4, respectivamente.

El IAF manifestó cuatro incrementos significativos (Tukey, $P = 0.05$) a través del tiempo en los tratamientos T1, T2 y T3 (Figura 3). En el periodo 10-80 ddt, cuando la planta se estuvo adaptando a las condiciones de campo y el crecimiento fue lento, el valor promedio del IAF de los tres tratamientos fue de 0.04. De los 110 a los 260 ddt, el IAF se incrementa con respecto al periodo anterior, con un valor promedio de 0.23 para los tres tratamientos. A los 320 y 360 ddt, el IAF es superior a los otros periodos con su máximo valor en el último muestreo cuando los tratamientos de mayor frecuencia de riego (T1 y T2), en promedio, superan al T3 en un 32 %. En el T4, el IAF se incrementó de manera significativa (Tukey, $P = 0.05$) después de los 260 ddt, esto se debió a que a los 265 ddt se le aplicó un riego de auxilio de 10 cm de lámina.

La relación entre el IAF al final del estudio y la lámina de agua total aplicada fue de tipo cuadrático (Figura 4), lo cual indica que existe un IAF máximo que corresponde a una cantidad de agua aplicada. Al derivar la función e igualarla a cero se obtuvo que el IAF máximo (0.75) se obtiene con 126 cm de agua aplicada.

Biomasa seca de hojas (BH)

La producción de biomasa seca por planta incrementó con la edad de la planta en todos los tratamientos de riego excepto a los 260 ddt cuando disminuyó en forma significativa (Tukey, $P = 0.05$) con respecto a los 140 ddt (Figura 5). Esta disminución fue ocasionada por una pérdida de hojas durante el invierno debido a que las temperaturas mínimas alcanzaron valores por debajo de los cero grados. Después de ese tiempo, cuando las temperaturas del aire se incrementaron (Figura 1) las plantas se recuperaron ocasionando una mayor pro-

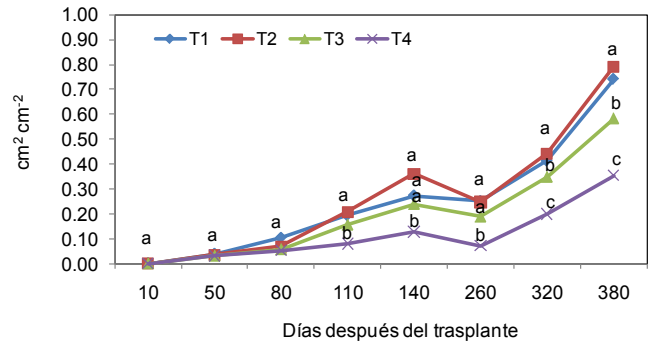


FIGURA 3. Índice de área foliar a través del tiempo en cada uno de los tratamientos de riego. Las letras indican la comparación de medias dentro de cada fecha de muestreo de acuerdo a la prueba de Tukey, a una $P = 0.05$.

FIGURE 3. Leaf area index over time in each of the irrigation treatments. The letters indicate the comparison of means at each sampling date according to Tukey's test at $P = 0.05$.

responding to an amount of water applied. By deriving the function and equaling it to zero, it was found that the maximum LAI (0.75) is obtained with 126 cm of water applied.

LEAF DRY BIOMASS

The production of dry biomass per plant increased with plant age in all irrigation treatments except at 260 dat when it decreased significantly (Tukey, $P = 0.05$) compared to at 140 dat (Figure 5). This decrease was caused by a loss of leaves during the winter when minimum temperatures reached values below zero degrees. After that time when air temperatures rose (Figure 1), the plants recovered, resulting in greater leaf production with the maximum value reached in the last sampling.

Up to 80 dat, irrigation frequency did not have a significant (Tukey, $P = 0.05$) effect on plant leaf production

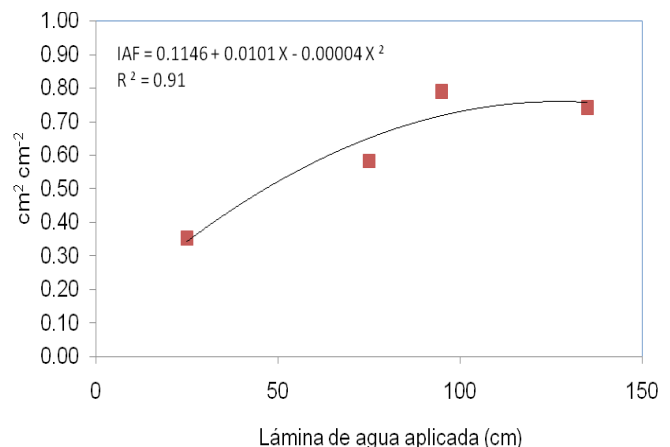


FIGURA 4. Relación entre el índice de área foliar al final del ciclo y la lámina de agua aplicada en orégano.

FIGURE 4. Relationship between leaf area index at the end of the cycle and the water depth applied on oregano.

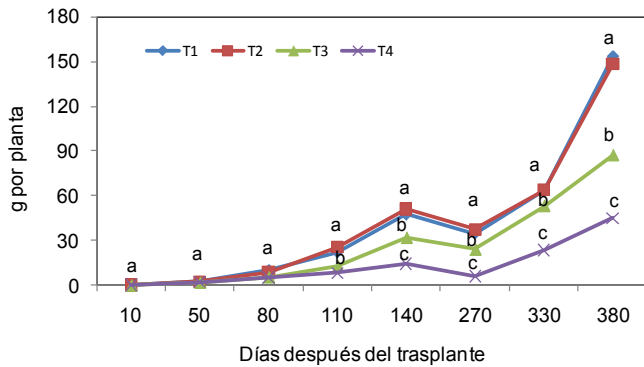


FIGURA 5. Producción de biomasa seca de hoja por planta a través del tiempo en cada uno de los tratamientos de riego. Las letras indican la comparación de medias dentro de cada fecha de muestreo de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $P=0.05$.

FIGURE 5. Production of leaf dry biomass per plant over time in each of the irrigation treatments. The letters indicate the comparison of means at each sampling date according to Tukey's test at $P=0.05$.

ducción de hojas creciente con su valor máximo en el último muestreo.

Hasta los 80 ddt, la frecuencia de riego no tuvo un efecto significativo (Tukey, $P=0.05$) sobre la producción de hojas por planta (Figura 5); en cambio a partir de los 110 y hasta el final de los muestreos si lo tuvo. Los tratamientos T1 y T2, aun cuando tuvieron diferente número de riegos, mostraron una producción de hojas estadísticamente similar, alcanzando un valor promedio máximo de $3,854.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a los 380 ddt. Los tratamientos T3 y T4 fueron diferentes a partir de los 140 ddt mostrando su máxima diferencia en el último muestreo cuando el T3 superó en 94 % al T4. Reducciones de peso seco foliar debido a los déficits hídricos han sido también reportados en otros estudios de orégano mexicano (*Lippia berlandieri* Schauer; Turgut y Silva, 2005, y *Lippia graveolens* H.B.K., Galván *et al.*, 2005). También estos efectos se han documentado en otros cultivos como soya (Frederick *et al.*, 1998), maíz (NeSmith and Ritchie, 1992) y girasol (Sadras *et al.*, 1993).

Biomasa total por planta (BTP)

La fecha de muestreo, la frecuencia de riego y la interacción de ambos factores afectó de manera significativa ($P<0.01$) a la producción de la BTP. El efecto del riego se manifestó de los 110 ddt hasta el final de los muestreos cuando los tratamientos más húmedos (T1 y T2) produjeron similar BTP pero superior a la producida en los tratamientos de menor frecuencia de riego (T3 y T4, Cuadro 2). Estos últimos tratamientos fueron estadísticamente diferentes y el T3 superó al T4 en la producción de BTP hasta en un 236 % al final de los muestreos pero fue inferior en un 40 % al promedio de la BTP de los tratamientos T1 y T2.

(Figure 5); by comparison, from 110 dat until the end of the sampling it did. Treatments T1 and T2, although they had a different number of irrigations, showed a statistically similar leaf production, reaching an average maximum value of $3,854.3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ at 380 dat. Treatments T3 and T4 were different from 140 dat, showing their maximum difference in the last sampling when T3 exceeded T4 by 94 %. Leaf dry weight reductions due to water deficits have also been reported in other studies of Mexican oregano (*Lippia berlandieri* Schauer; Turgut and Silva, 2005, and *Lippia graveolens* HBK, Galván *et al.*, 2005). These effects have also been documented in other crops such as soya (Frederick *et al.*, 1998), maize (NeSmith and Ritchie, 1992) and sunflower (Sadras *et al.*, 1993).

Total plant biomass (TPB)

Sampling date, irrigation frequency and the interaction of these two factors significantly ($P<0.01$) affected TPB production. The effect of irrigation was shown from 110 dat until the end of the sampling when the wettest treatments (T1 and T2) produced similar TPB but greater than that produced in lower-frequency irrigation treatments (T3 and T4, Table 2). These treatments were statistically different as T3 exceeded T4 in TPB production by up to 236 % at the end of the sampling but was 40 % lower than the TPB average of treatments T1 and T2.

TPB production increased over time up to 140 dat in all treatments and then decreased slightly at 260 dat to then recover and go on the rise at the end of the sampling (Table 2). During the period from 10 to 80 dat the increase in TPB was of a low magnitude and not significant (Tukey, $P=0.05$) in treatments T1, T2 and T3, with an average value of 6.7, 6.4 and 4.6 g, respectively. At 110 and 140 das, TPB production increased significantly in the three treatments but at 260 dat it decreased slightly compared to at 140 dat because during this period the onset of winter caused a decrease in leaf production. At 320 and 380 dat, TPB accumulation in treatments T1, T2 and T3 is increasing with its highest values in the last sampling. In the dry treatment (T4), TPB production is slow to 100 dat, then increases significantly (Tukey, $P=0.05$) at 140 dat, decreases slightly at 260 dat and then recovers to attain its maximum value at the end of the study.

TPB was linearly related with LAI (Figure 6) and total water depth applied during the study (Figure 7). Thus, 96 % of TPB was explained by LAI and a greater value of the latter increased TPB. A high LAI implies greater light interception, resulting in increased photosynthesis and thus more biomass production. The linear relationship between LAI and TPB has also been reported in other crops such as maize (Reta *et al.*, 2007) and sunflower (Aguilar-García *et al.*, 2005). On the other hand, total water depth applied explained 85 % of TPB production at the end of the cycle and for each cm of

CUADRO 2. Medias de biomasa total por planta dentro de cada fecha de muestreo y cada tratamiento de riego.
TABLE 2. Means of total plant biomass at each sampling date and each irrigation treatment.

Trat	Días después del trasplante							
	10	50	80	110	140	260	320	380
T1	0.19aε	4.61aε	15.25aε	41.08aδ	86.95aγ	84.68aγ	125.15aβ	284.58aα†
T2	0.18aε	5.00aε	14.12aε	46.80aδ	92.08aγ	87.13aγ	120.35aβ	290.63aα
T3	0.20aε	3.97aε	9.47aε	25.20bδ	57.15bγ	56.50bγ	90.38bβ	172.95bα
T4	0.17aδ	4.02aδ	9.50aδ	16.90cδ	28.43cγ	20.33cδ	42.60cβ	73.17cα

†Medias con la misma letra latina y griega no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $P=0.05$ dentro de columnas e hileras, respectivamente.

†Means with the same Latin and Greek letter are not different according to Tukey's test at $P=0.05$ within columns and rows, respectively.

La producción de la BTP incrementó con el tiempo hasta los 140 ddt en todos los tratamientos, luego disminuyó ligeramente a los 260 para luego recuperarse e ir en aumento al final de los muestreos (Cuadro 2). Durante el periodo de los 10 hasta los 80 ddt el incremento de la BTP fue de poca magnitud y no significativa (Tukey, $P=0.05$) en los tratamientos T1, T2 y T3, con un valor promedio de 6.7, 6.4 y 4.6 g, respectivamente. A los 110 y 140 dds, la producción de BTP aumenta de manera significativa en los tres tratamientos pero a los 260 ddt disminuye levemente con respecto a los 140 ddt debido a que durante este periodo se presentó el invierno que causó una disminución en la producción de hojas. A los 320 y 380 ddt la acumulación de BTP en los tratamientos T1, T2 y T3 va en aumento con sus valores más altos en el último muestreo. En el tratamiento seco (T4), la PBT es lenta hasta los 110 ddt, después se incrementa de manera significativa (Tukey, $P=0.05$) a los 140 ddt, disminuye ligeramente a los 260 ddt y luego se recupera hasta alcanzar su valor máximo al final del estudio.

La BTP estuvo relacionada en forma lineal con el IAF (Figura 6) y la lámina de agua total aplicada durante el estudio (Figura 7). De esta manera, se tiene que un 96 % de la BTP se explicó por el IAF y que a mayor valor de este la BTP se incrementó. Un IAF alto implica una mayor intercepción de luz resultando en una mayor fotosíntesis que ocasiona más producción de biomasa. La relación lineal entre IAF y la BTP también ha sido reportada en otros cultivos como maíz (Reta *et al.*, 2007), y girasol (Aguilar-García *et al.*, 2005). Por otra parte, la lámina de agua total aplicada explicó en 85 % la producción de BTP al final del ciclo y por cada cm de agua aplicado, dentro del rango de 25 a 135, la BTP se incrementa a una tasa de $2.082 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$. Esta relación lineal entre la BTP y la lámina de riego aplicada también fue encontrada en espárrago (Ferreira *et al.*, 1995).

Tasa de crecimiento de la planta (TCP)

La TCP fue afectada significativamente ($P<0.01$) por la frecuencia del riego, el tiempo de muestreo y la interacción de ambos factores. Esta variable se incrementó con el tiempo hasta los 140 ddt en los cuatro tra-

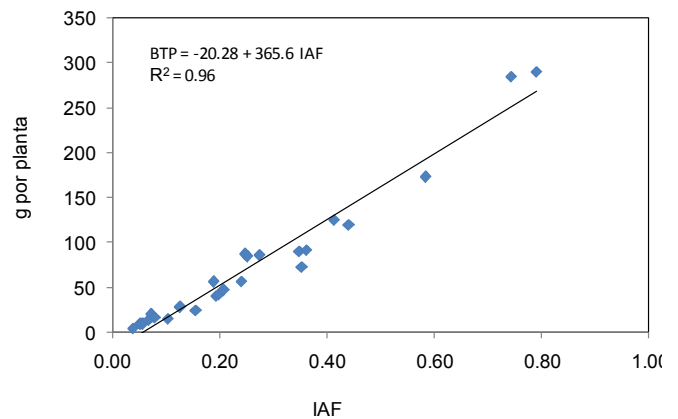


FIGURA 6. Relación entre el índice de área foliar y la producción de biomasa total por planta.

FIGURE 6. Relationship between leaf area index and total plant biomass production.

water applied, within the range of 25 to 135, TPB increases at a rate of $2.082 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1}$. This linear relationship between TPB and applied water depth was also found in asparagus (Ferreira *et al.*, 1995).

Plant growth rate (PGR)

PGR was significantly ($P<0.01$) affected by irrigation frequency, sampling time and the interaction of

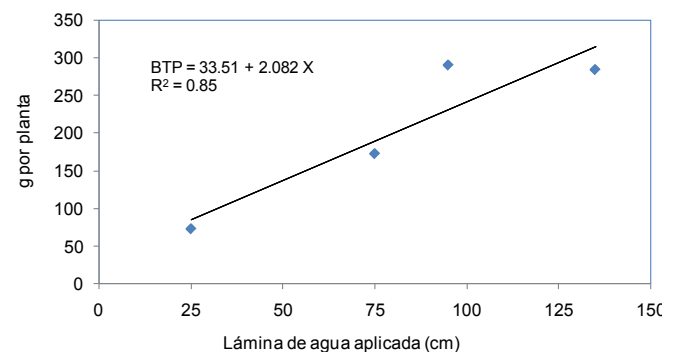


FIGURA 7. Relación entre la lámina de agua total aplicada y la producción de biomasa total por planta en el último muestreo.

FIGURE 7. Relationship between total water depth applied and total plant biomass production in the last sampling.

tamientos de riego, se redujo drásticamente durante la etapa de los 140-260 ddt y se recuperó hasta alcanzar sus valores máximos en el último periodo de desarrollo (Figura 8). La disminución en la TCP se debió a una defoliación de la planta causada por las temperaturas mínimas registradas durante el invierno y además a una granizada que ocurrió a principios de primavera, lo cual coincidió con el periodo de los 140-260 ddt.

La frecuencia de riego modificó la TCP en los períodos 80-110, 110-140 y 320-380 ddt (Figura 8). Los tratamientos de mayor frecuencia (T1 y T2) ocasionaron una TCP similar (Tukey, $P=0.05$) pero superior a la de los tratamientos con menos riegos (T3 y T4). En el último periodo los tratamientos T1 y T2 tuvieron una TCP promedio de 2.687 $g \cdot d^{-1}$, el cual fue 1.95 y 5.28 veces más que el T3 y T4, respectivamente.

Tasa de asimilación neta (TAN)

La frecuencia del riego y el tiempo de muestreo afectaron la TAN en forma significativa ($P=0.03$ y $P=0.01$, respectivamente); en cambio, la interacción de ambos factores no lo hizo a un $P=0.05$. Durante los dos primeros periodos de desarrollo, la TAN mostró cambios no significativos (Cuadro 3), después decrece pero se mantiene durante los periodos 80-110 y 110-140 ddt y nuevamente disminuye hasta alcanzar valores negativos durante la etapa de los 140-260 ddt, que se pueden explicar por la caída de hojas en el invierno; luego la TAN se incrementa en los dos últimos periodos de desarrollo hasta alcanzar valores tan altos como al inicio del desarrollo al final del estudio. Con respecto a los tratamientos de riego, la TAN disminuyó a medida que los riegos fueron menos frecuentes, aunque los T1 y T2 no fueron estadísticamente diferentes ($P=0.05$).

Eficiencia en el uso del agua (EUA)

Los efectos principales del tiempo de muestreo y frecuencias de riego fueron altamente significativos ($P=0.01$) en la EUA, así también lo fue la interacción entre ambos factores. Hasta los 80 ddt, aun cuando la

CUADRO 3. Medias de la tasa de asimilación neta promedio en cada periodo de desarrollo y tratamiento de riego.

TABLE 3. Net assimilation rate averages in each development period and irrigation treatment.

Periodo de desarrollo (ddt)	Media† (mg·cm ⁻² ·d ⁻¹)	Tratamiento de riego	Media† (mg·cm ⁻² ·d ⁻¹)
10-50	2.214 ab	T1	2.104 a
50-80	3.109 a	T2	1.825 ab
80-110	1.862 b	T3	1.495 b
110-140	1.770 b	T4	1.225 b
140-260	-0.025 c		
260-320	0.445 c		
320-380	2.157 ab		

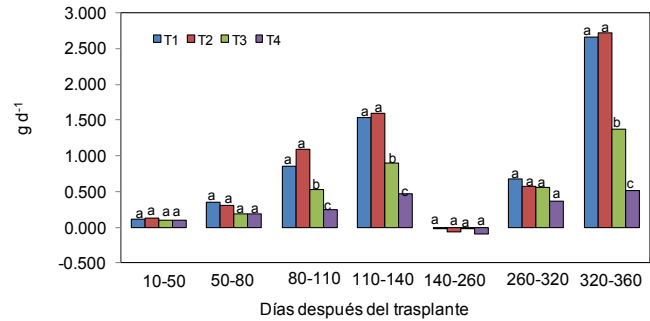


FIGURA 8. Tasa de crecimiento de la planta durante siete periodos de desarrollo en cada uno de los tratamientos de riego. Las letras indican la comparación de medias dentro de cada fecha de muestreo de acuerdo a la prueba de Tukey, a una $P=0.05$.

FIGURE 8. Plant growth rate for seven development periods in each of the irrigation treatments. The letters indicate the comparison of means at each sampling date according to Tukey's test at $P=0.05$.

these two factors. This variable increased over time up to 140 dat in the four irrigation treatments, fell dramatically during the period from 140-260 dat, and then recovered to reach its peak values in the last period of development (Figure 8). The decrease in PGR was due to plant defoliation caused by minimum temperatures recorded during the winter and also a hailstorm that occurred in early spring, which coincided with the period from 140-260 dat.

Irrigation frequency changed PGR in the periods 80-110, 110-140 and 320-380 dat (Figure 8). The most frequent treatments (T1 and T2) led to a similar PGR (Tukey, $P=0.05$), but one that was higher than that of the treatments with fewer irrigations (T3 and T4). In the last period, treatments T1 and T2 had an average PGR of 2.687 $g \cdot d^{-1}$, which was 1.95 and 5.28 times more than that of T3 and T4, respectively.

Net Assimilation Rate (NAR)

Irrigation frequency and sampling time significantly ($P=0.03$ and $P=0.01$, respectively) affected NAR, whereas the interaction of these two factors did not at $P=0.05$. During the first two development periods, NAR showed no significant changes (Table 3), then decreased but continued for the periods 80-110 and 110-140 dat and once again decreased until reaching negative values during the period from 140-260 dat, which can be explained by the loss of leaves in the winter; thereafter NAR increased in the two development periods to reach values as high as those of the early development at the end of the study. With regard to the irrigation treatments, NAR decreased as the irrigations were less frequent, although T1 and T2 were not statistically different ($P=0.05$).

CUADRO 4. Eficiencia de uso de agua**TABLE 4. Water use efficiency**

Trat	Días después del trasplante							
	10	50	80	110	140	260	320	380
	-----kg m ⁻³ -----							
T1	0.003aε	0.046aε	0.109aδ	0.228by	0.395bβ	0.223aγ	0.272cy	0.527ba†
T2	0.003aε	0.050aε	0.141aδ	0.334aγ	0.525aβ	0.335aγ	0.354by	0.765aα
T3	0.003aζ	0.066aζ	0.095aε	0.252bδ	0.408bβ	0.257aδ	0.348by	0.576ba
T4	0.003aζ	0.067aζ	0.158aε	0.282abδ	0.515aβ	0.339aδ	0.426aγ	0.732aα

†Medias con la misma letra latina y griega no son diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey, a una $P=0.05$ dentro de columnas e hileras, respectivamente.

‡Means with the same Latin and Greek letter are not different according to Tukey's test at $P=0.05$ within columns and rows, respectively.

cantidad de agua aplicada fue diferente en cada tratamiento de riego, estos no alteró de manera significativa (Tukey, $P=0.05$) a la EUA (Cuadro 4). A los 110 y 140 ddt, los efectos de la frecuencia de riego se hicieron evidentes resultando los tratamientos T2 y T4 con mayores eficiencias que las observadas en los T1 y T3. A los 260 ddt, debido a que en esa fecha de muestreo el rendimiento de BTP disminuyó con respecto a los 140 ddt, la EUA se igualó en los cuatro tratamientos de riego. A los 320 ddt, el tratamiento seco fue el más eficiente en usar el agua aplicada y al final de los muestreos, los tratamientos T2, con una frecuencia de riegos cada 45 días, nueve riegos y 95 cm de lámina de agua aplicada y el T4 con sólo dos riegos, uno al momento del trasplante y el otro a los 265 ddt mostraron las EUA más altas (originalmente sólo se tenía contemplado un solo riego, pero debido a las heladas se realizó una aplicación extra con el fin de estimular la recuperación del cultivo). Los tratamientos T1 y T3 fueron estadísticamente similares entre ellos, con una EUA promedio de $0.551 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Las EUA incrementaron con el tiempo hasta los 140 ddt en los cuatro tratamientos de riego, luego se reducen significativamente a los 260 y 320 ddt para luego incrementarse al final del estudio.

CONCLUSIONES

El crecimiento del orégano, expresado en el IAF, biomasa seca de hojas y biomasa total por planta fue lento hasta los 80 ddt, después de ese tiempo se incrementa hasta que las temperaturas mínimas del invierno lo redujeron a los 260 ddt, luego se recupera cuando las temperaturas del aire aumentan. Los valores más altos del IAF, biomasa seca de hojas, biomasa total por planta y tasa de crecimiento de la planta en los cuatro tratamientos se alcanzaron a los 380 ddt. Lo cual indica que hasta esa fecha las plantas aún seguían creciendo.

Las plantas de orégano requieren de riegos poco frecuentes en sus etapas tempranas de crecimiento ya que ellas respondieron a los tratamientos de riego hasta los 110 ddt. Los tratamientos T1 y T2, con frecuencias de riego cada 30 y 45 días produjeron el mayor índice de área foliar, biomasa seca de hojas, biomasa total y

Water Use Efficiency (WUE)

The main effects of sampling time and irrigation frequency were highly significant ($P=0.01$) in WUE, as was the interaction between the two factors. Up to 80 dat, even though the amount of water applied was different in each irrigation treatment, these factors did not significantly (Tukey, $P=0.05$) change WUE (Table 4). At 110 and 140 dat, the effects of irrigation frequency were evident, resulting in the T2 and T4 treatments having higher efficiency rates than T1 and T3. At 260 dat, because at that sampling date TPB yield declined from that at 140 dat, WUE was the same in the four irrigation treatments. At 320 dat, the dry treatment was the most efficient in using the applied water and at the end of the sampling, treatments T2, with a watering frequency of every 45 days, nine irrigations and 95 cm of applied water depth, and T4, with only two irrigations, one at the time of transplanting and the other at 265 dat, showed the highest WUE rates (originally only a single irrigation was planned, but due to frost problems an extra application was made in order to promote the recovery of the crop). Treatments T1 and T3 were statistically similar, with an average WUE rate of $0.551 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. WUE rates increased over time up to 140 dat in the four irrigation treatments, then decreased significantly at 260 and 320 dat and then rose at the end of the study.

CONCLUSIONS

Oregano growth, expressed in LAI, leaf dry biomass and total plant biomass, was slow until 80 dat; thereafter it increased until minimum winter temperatures reduced it at 260 dat, after which it rebounded when air temperatures increased. The highest values of LAI, leaf dry biomass, total plant biomass and plant growth rate were reached at 380 dat, indicating that up until this date the plants were still growing.

Oregano plants require infrequent watering in their early stages of growth as they responded to the irrigation treatments up to 110 dat. Treatments T1 and T2, with irrigation frequencies of 30 and 45 days, produced the highest leaf area index, dry leaf biomass, total plant biomass and growth rate.

tasa de crecimiento de la planta.

Los tratamientos T2 y T4 mostraron la eficiencia de uso de agua más alta.

AGRADECIMIENTOS

El presente escrito forma parte del proyecto titulado Técnicas de Cultivo para Obtener Alta Producción de Biomasa y Calidad de Aceites Esenciales en Orégano con CLAVE:DGO-2008-C01-88093 Financiado por FOMIX-Durango.

LITERATURA CITADA

- AGUILAR-GARCÍA, L.; ESCALANTE-ESTRADA, J. A.; FUCIKOVSKY-ZAK, L.; TIJERINA-CHÁVEZ, L.; ENGLEMAN E. MARK. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol. *Terra Latinoamericana*, 23(3): 303-310 pp.
- COMISIÓN NACIONAL FORESTAL (CONAFOR). 2007. Orégano Mexicano, oro verde del desierto. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal Número 54. Consultada el 24 de octubre del 2008.
- ESCALANTE-ESTRADA, J. A.; KOHASHI-SHIBATA J. 1982. Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 48: 29-38 pp.
- ESCALANTE-ESTRADA, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 17: 149-157 pp.
- FERREYRA, R. E.; PERALTA A. J. M.; SELLÉS VAN S. G.; FRITSCH F. N.; CONTADOR F. F.; RUBIO F. A. 1995. Respuesta del cultivo del espárrago (*Asparagus officinalis* L.) a distintos regímenes de riego durante dos primeras temporadas de establecimiento. *Agricultura Técnica (Chile)* 55: 1-8 pp.
- FREDERICK, J. R.; BAUER, P. J.; BUSSCHER, J. W.; MCCUTCHEON, G. S. 1998. Tillage management for double cropped soybean grown in narrow and wide row width culture. *Crop Science*. 38: 755-762 pp.
- GONZÁLEZ, G. M. C.; SOTO H. M.; KITE G.; MARTÍNEZ V. M. 2007. Actividad antioxidante de flavonoides del tallo de orégano mexicano (*Lippia graveolens* HBK var *Berlandier* Schauer). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 43-49 pp.
- HUERTA, C. 1997. Orégano Mexicano: Oro vegetal. *Biodiversitas*. Bol. CONABIO 3: 8-13 pp.
- MARTÍNEZ-ROCHA A.; PUGA R.; HERNÁNDEZ-SANDOVAL

Treatments T2 and T4 showed the highest water use efficiency.

ACKNOWLEDGEMENTS

This article is part of the project entitled Cultivation Techniques for Obtaining High Biomass Production and Essential Oil Quality in Oregano, DGO-2008-C01-88093, funded by FOMIX-Durango.

End of English Version

- L.; LOARCA-PIÑA G. Y MENDOZA S. 2008. Antioxidant and antimutagenic activities of Mexican Oregano (*Lippia graveolens* Kunth). *Plant Foods Human Nutrition*. 63:1-5.
- NESMITH, D. S.; RITCHIE, J. T. 1992. Maize (*Zea mays* L.) response to a severe soil water-deficit during grain-filling. *Field Crops Research* 29: 23-35 pp.
- OLALDE-GUTIÉRREZ, V. M.; ESCALANTE-ESTRADA, J. A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; TIJERINA-CHÁVEZ, L.; MASTACHE-LAGUNAS, A. A.; CARREÑO-ROMÁN, E. 2000. Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra Latinoamericana*, 18: 313-323 pp.
- RETA, SÁNCHEZ D. G.; CUETO WONG J. A.; GAYTÁN MAS-CORRO A.; SANTAMARÍA CÉSAR J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica. Méx.* 33 (2): 145-151 pp.
- SADRAS, V. O.; VILLALOBOS, F. J.; FERERES, E. 1993. Leaf expansion in field-grown sunflower in response to soil and leaf waterstatus. *Agronomy Journal*. 8: 564-570 pp.
- SAS INSTITUTE INC. 1999. SAS/STAT User's guide, Version 6, Fourth edition Volume 2.
- SILVA, V. R. 2003. El orégano (*Lippia berlandieri* Schauer). Folleto Técnico. SE, SEIT, DGTA, COSNET. Salices, Chih. México. COSNET. 135 p.
- TURGUT D. N.; SILVA V. R. 2005. Effect of water stress on plant growth and thymol and carvacrol concentrations in Mexican oregano grown under controlled conditions. *Journal of Applied Horticulture*. 7: 20-22 pp
- VILLA, C. M.; CATALÁN V. E. A.; INZUNZA I. M. A. 2005. Análisis de la información climática para usos agrícolas. *Revista Agrofaz*, 5: 717-724 pp.
- ZHENG, W.; WANG S. J. 2001. Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. *Journal of agricultural and food chemistry*. 49: 5165-5170.