

Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano

Producción de biomasa, requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio, y concentración de la solución nutritiva en orégano

Cecilia Rocío Juárez-Rosete; Juan Apolinar Aguilar-Castillo; Circe Aidín Aburto-González; Gelacio Alejo-Santiago*

Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9.0, Xalisco, Nayarit, C. P. 63155, MÉXICO

*Corresponding author: gelacioalejo@hotmail.com, tel. 311 148 01 81

Abstract

The concentration of nutrient solution (NS) in soilless culture systems influences the accumulation of aerial biomass and nutrient contents. This research aimed to determine the optimal Steiner NS concentration for biomass production in Greek oregano (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* [Link] Letswaart), and to quantify its nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium. A completely randomized design was established with five treatments and five replicates. The treatments were different NS concentrations: 25, 50, 75, 100 and 125 %. The experimental unit consisted of five bags (20 x 20 cm) with substrate (tezontle: 3 to 10 mm in diameter), with one plant each. The fresh and dry aerial matter and the concentration of N, P and K in the different samples were determined. The results showed significant statistical difference in the five variables. The highest fresh and dry matter production was obtained with the 50 and 75 % NS concentrations. While the lower concentrations did not meet the crop's nutrient demand, the higher concentrations significantly decreased biomass production. The 50 % NS can be used in commercial hydroponic oregano production. The nutritional requirement of this crop is: 4.76 kg of N, 0.70 kg of P and 5.10 kg of K, per ton of fresh matter.

Keywords:
nutrition, aromatic plants, hydroponics, *Origanum vulgare*.

Resumen

La concentración de la solución nutritiva (SN) en sistemas de cultivo sin suelo influye en la acumulación de biomasa aérea y contenidos nutrimentales. La presente investigación tuvo como objetivo determinar la concentración de SN de Steiner óptima para la producción de biomasa en orégano griego (*Origanum vulgare* L. ssp. *hirtum* [Link] Letswaart), y cuantificar su requerimiento nutrimental de nitrógeno, fósforo y potasio. Se estableció un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron diferentes concentraciones de la SN: 25, 50, 75, 100 y 125 %. La unidad experimental consistió en cinco bolsas (de 20 x 20 cm) con sustrato (tezontle: 3 a 10 mm de diámetro), con una planta cada una. Se determinó la materia aérea fresca y seca, y la concentración de N, P y K en los diferentes muestreos. Los resultados mostraron diferencia estadística significativa en las cinco variables. La mayor producción de materia fresca y seca se obtuvo con las concentraciones 50 y 75 % de SN. Mientras que, las concentraciones inferiores no abastecieron la demanda nutrimental del cultivo, y las superiores disminuyeron la producción de biomasa significativamente. La SN al 50 % se puede utilizar en la producción comercial hidropónica de orégano. El requerimiento nutrimental de este cultivo es: 4.76 kg de N, 0.70 kg de P y 5.10 kg de K, por tonelada de materia fresca.

Palabras clave:
nutrición, aromáticas, hidroponía, *Origanum vulgare*.



Introduction

Oregano is one of the most important aromatic species in the world, due to its uses in food, in the manufacture of cosmetics, drugs and liquors, and as a source of antioxidants (Said-Al Ahl, Ayad, & Hendawy, 2009; Sarikurkcu et al., 2015). Mexico is an important producer of this crop (Flores-Hernández et al., 2011), and its production represents a viable agricultural alternative from an economic point of view (Juárez-Rosete et al., 2013), due to its proximity to the main importing country of this crop, which is the United States. Additionally, the demand it has in specialized markets and its low production costs represent advantages for Mexican producers (Bonfanti et al., 2012).

In the international market, Turkey, Mexico and Greece are the main suppliers of processed and non-processed dry oregano (Bonfanti et al., 2012); the first two contribute 65 and 31 % of production, respectively. On the other hand, Peru stands out for its growth in production, harvested area and yield, as well as for exports to countries in South America and Europe (Salas-Portugal, & Alagon-de la Sota, 2016). In Mexico, the species of oregano grown for fresh consumption is *Origanum vulgare* L. spp. *hirtum*, and 90 % of its national production is for the export market (Aguilar-Murillo, Valle-Meza, González-Rosales, & Murillo-Amador, 2013).

The current growth of the market for aromatic and medicinal plants demands the study of the factors that affect their yield and quality (Yeritsyan & Economakis, 2002), in order to improve production systems. In this context, the main problem in aromatic herbs is the lack of precise information on nutrition management (Pedraza & Henao, 2008); moreover, because they are crops in which the aerial part is harvested and in a commercial manner, successive harvests of sprouts are made. This makes it a crop with a high capacity to extract nutrients from the soil.

Among the nutritional requirements of oregano, it is known that N, P and K play a fundamental role due to their functions in plant metabolism (Said-Al Ahl et al., 2009); in addition, they are necessary elements for optimal plant development, mainly for sprouting after harvest (Aguilar-Murillo et al., 2013). For optimal nutrition management, it is necessary to know the nutritional requirement of the crop, which is expressed in kilograms of nutrients per ton of product, in this case fresh product. This data is key in the estimation of nutrient demand, an indispensable parameter to estimate the appropriate fertilization dose for crops.

Without information on the nutritional requirement of this crop, achieving sustainable fertilization management is difficult. Similarly, in hydroponic systems, the nutrient solution (NS) concentration that

Introducción

El orégano constituye una de las especies aromáticas más importantes del mundo, debido a sus usos en la alimentación, en la elaboración de cosméticos, fármacos y licores, y como fuente de antioxidantes (Said-Al Ahl, Ayad, & Hendawy, 2009; Sarikurkcu et al., 2015). México es un productor importante de este cultivo (Flores-Hernández et al., 2011), y su producción representa una alternativa agrícola viable desde el punto de vista económico (Juárez-Rosete et al., 2013), debido a su cercanía con el principal país importador de este cultivo, que es Estados Unidos. Adicionalmente, la demanda que posee en mercados especializados y sus costos de producción bajos representan ventajas para los productores mexicanos (Bonfanti et al., 2012).

En el mercado internacional, Turquía, México y Grecia son los principales proveedores de orégano seco procesado y no procesado (Bonfanti et al., 2012); los dos primeros aportan el 65 y 31 % de la producción, respectivamente. Por otra parte, Perú destaca por el crecimiento en producción, superficie cosechada y rendimiento, así como por la exportación a países de América del Sur y Europa (Salas-Portugal, & Alagon-de la Sota, 2016). En México, la especie de orégano cultivado para consumo en fresco es *Origanum vulgare* L. spp. *hirtum*, y el 90 % de su producción a nivel nacional es para el mercado de exportación (Aguilar-Murillo, Valle-Meza, González-Rosales, & Murillo-Amador, 2013).

El crecimiento actual del mercado de plantas aromáticas y medicinales demanda el estudio de los factores que afectan su rendimiento y calidad (Yeritsyan & Economakis, 2002), con fines de mejorar los sistemas de producción. En este contexto, el principal problema en las hierbas aromáticas es la falta de información precisa sobre el manejo de la nutrición (Pedraza & Henao, 2008); más aún, porque son cultivos en los que se cosecha la parte aérea y de manera comercial se realizan cosechas sucesivas de rebrotes. Lo anterior lo convierte en un cultivo con alta capacidad de extracción de nutrimentos del suelo.

Entre los requerimientos nutrimentales del orégano se sabe que el N, el P y el K juegan un papel fundamental por sus funciones en el metabolismo de la planta (Said-Al Ahl et al., 2009), además, son elementos necesarios para su desarrollo óptimo, principalmente para la brotación después de la cosecha (Aguilar-Murillo et al., 2013). Para el manejo óptimo de la nutrición, es necesario conocer el requerimiento nutrimental del cultivo, el cual se expresa en kilogramos de nutrimentos por tonelada de producto, en este caso producto fresco. Este dato es clave en la estimación de la demanda nutrimental, un parámetro indispensable para estimar la dosis adecuada de fertilización de los cultivos.

should be used for oregano production is not defined. The existing studies on fertilization in this species have been conducted in Europe and Asia in the open field, in plantations of different subspecies of *Origanum vulgare* L., such as *O. vulgare* L., *O. vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, *O. vulgare* ssp. *viridulum* Nyman, and *O. vulgare* ssp. *virens* (Hoffmansegg & Link) (de Falco, Rozigno, Landolfi, Scandolera, & Senatore, 2014; Pal, Adhikari, & Negi, 2016; Said-Al Ahl et al., 2009; Sarikurkcu et al. 2015; Sotiropoulou & Karamanos, 2010). Hydroponic systems allow more precise control in nutrition studies to determine the nutritional requirement of the crop.

Therefore, the objective of this research was to determine the optimal Steiner nutrient solution (NS) concentration for biomass production in oregano (*Origanum vulgare* spp. *hirtum* [Link] Ietswaart), and to quantify its nutritional requirement of N, P and K. This information is useful to support fertilization programs in commercial oregano farms, both in soil production systems and under hydroponic conditions.

Materials and methods

The research was carried out under tunnel-type shade house conditions in the Agricultural Academic Unit of the *Universidad Autónoma de Nayarit*, located at 21° 25' North latitude and 104° 53' West longitude, during the 2013 spring-summer period. In the crop cycle, a maximum temperature of 35 °C and a minimum of 8 °C were recorded, with minimum relative humidity of 56 % and maximum of 88 %.

The plants were obtained from oregano seeds of the commercial Greek variety (*O. vulgare* spp. *hirtum*), which were placed in 200-cavity polystyrene containers with peat moss as a germination substrate. The seeds germinated 10 days after sowing and were watered until reaching a height of 5 cm.

The transplant was made in black polyethylene bags (20 x 20 cm) containing 1.5 L of basaltic volcanic rock (red tezontle) as substrate, with particle size from 0.3 to 1.0 cm, bulk density of 0.83 g·cm⁻³, aeration capacity of 21.33 % (v/v), moisture retention capacity of 12.79 % (v/v) and total pore space of 32.33 % (v/v). Irrigation was applied daily, where 300 mL of NS were supplied in the morning and 150 mL of water in the afternoon to avoid the accumulation of salts in the substrate.

Experimental design and evaluated variables

A completely randomized design was established with five treatments and five replicates. The treatments were different concentrations of the universal NS proposed by Steiner (1984): 25, 50, 75, 100 and 125 % (Table 1). Daily, 300 mL of NS per bag were manually supplied. The NS was prepared with soluble fertilizers:

Al carecer de información del requerimiento nutrimental de este cultivo, se dificulta el manejo sustentable de la fertilización. De igual manera, en sistemas hidropónicos, no está definida la concentración de solución nutritiva (SN) que se debe emplear para la producción de orégano. Los estudios existentes sobre la fertilización en esta especie se han desarrollado en Europa y Asia a campo abierto, en plantaciones de distintas subespecies de *Origanum vulgare* L., como *O. vulgare* L., *O. vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, *O. vulgare* ssp. *viridulum* Nyman, y *O. vulgare* ssp. *virens* (Hoffmansegg & Link) (de Falco, Rozigno, Landolfi, Scandolera, & Senatore, 2014; Pal, Adhikari, & Negi, 2016; Said-Al Ahl et al., 2009; Sarikurkcu et al. 2015; Sotiropoulou & Karamanos, 2010). Los sistemas hidropónicos permiten un control más preciso en estudios de nutrición para determinar el requerimiento nutrimental del cultivo.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue determinar la concentración de la solución nutritiva (SN) de Steiner óptima para la producción de biomasa en orégano (*Origanum vulgare* spp. *hirtum* [Link] Ietswaart), y cuantificar su requerimiento nutrimental de N, P y K. Esta información es útil para apoyar programas de fertilización en explotaciones comerciales, tanto de sistemas de producción en suelo como en condiciones hidropónicas, de esta especie.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en condiciones de casa sombra tipo túnel en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, ubicada a 21° 25' de latitud norte y 104° 53' longitud oeste, durante el periodo primavera-verano 2013. En el ciclo del cultivo se registró una temperatura máxima de 35 °C y mínima de 8 °C, con humedad relativa mínima de 56 % y máxima de 88 %.

Las plantas se obtuvieron de semillas de orégano de la variedad comercial Greek (*O. vulgare* spp. *hirtum*), las cuales se colocaron en recipientes de poliestireno de 200 cavidades con turba como sustrato de germinación. Las semillas germinaron a los 10 días después de la siembra y se regaron con agua hasta alcanzar 5 cm de altura.

El trasplante se realizó en bolsas de polietileno negro (20 x 20 cm) que contenían 1.5 L de roca volcánica basáltica (tezontle rojo) como sustrato, con granulometría de 0.3 a 1.0 cm, densidad aparente 0.83 g·cm⁻³, capacidad de aireación de 21.33 % (v/v), capacidad de retención de humedad de 12.79 % (v/v) y espacio poroso total de 32.33 % (v/v). El riego se aplicó diariamente, en donde se suministraron 300 mL de SN por la mañana y 150 mL de agua por la tarde para evitar la acumulación de sales en el sustrato.

Table 1. Ionic composition of Steiner nutrient solution at different concentrations.**Cuadro 1. Composición iónica de la solución nutritiva de Steiner en diferentes concentraciones.**

Treatment/ Tratamiento	Anions (meq·L ⁻¹)/ Aniones (meq·L ⁻¹)			Cations (meq·L ⁻¹)/ Cationes (meq·L ⁻¹)			Osmotic potential (MPa)/ Potencial osmótico (MPa)	Electrical conductivity (dS·m ⁻¹)/ Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹)
	NO ₃ ⁻²	H ₂ PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
1	3	0.25	1.75	1.75	2.25	1	-0.018	0.5
2	6	0.5	3.5	3.5	4.5	2	-0.036	1.0
3	9	0.75	5.25	5.25	6.75	3	-0.054	1.5
4	12	1	7	7	9	4	-0.072	2.0
5	15	1.25	8.75	8.75	11.25	5	-0.090	2.5

potassium nitrate, potassium sulfate, calcium nitrate, magnesium sulfate and monopotassium phosphate; as a source of micronutrients, 0.025 g·L⁻¹ of Ultrasol® microMix, a commercial mixture, was used. During the entire growth cycle, the pH of the NS was adjusted between 5.5 and 6.0 with H₂SO₄. Osmotic pressure remained at -0.018, -0.036, -0.054, -0.072 and -0.090 MPa in the treatments, respectively. The experimental unit consisted of five bags with substrate, with one plant in each bag, giving a total of 125 plants.

During the experiment, four harvests (H) were carried out at 30, 60, 90 and 120 days after transplanting, and the following variables were quantified:

Production of fresh and dry matter per plant:

The accumulated aerial fresh matter was weighed at the time the stems reached commercial size (15 cm). The cut was made 5 cm above the surface of the substrate to allow resprouting. The amount of biomass per plant was obtained from the average of the experimental unit. Subsequently, the fresh matter was dried in an oven (EI45-AIA, Novatech®, Mexico) at 70 °C to constant weight to record the accumulated aerial dry matter and to know its water content. Total fresh and dry matter production was estimated by adding the amount obtained in the four harvests and considering 15 plants·m⁻².

Concentration of nitrogen, phosphorus and potassium (%):

A wet digestion extraction was carried out according to the procedures described by Alcántar-González and Sandoval-Villa (1999). In the case of N, a mixture of sulfuric acid with salicylic acid was used, while for P and K a mixture of nitric acid with perchloric acid was used. Total N content was determined by the semi-microkjeldahl method, P by colorimetry with a spectrophotometer (DR2800, Hach®, USA) and K with a flame photometer (Flame Photometer 410, Sherwood®, Great Britain).

Nutritional requirement

Once the NS concentration that induced the highest production of fresh matter was identified, the

Diseño experimental y variables evaluadas

Se estableció un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos fueron diferentes concentraciones de la SN universal propuesta por Steiner (1984): 25, 50, 75, 100 y 125 % (Cuadro 1). Diariamente se suministraron de manera manual 300 mL de la SN por bolsa. La SN se preparó con fertilizantes solubles: nitrato de potasio, sulfato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de magnesio y fosfato monopotásico; como fuente de micronutrientes se utilizaron 0.025 g·L⁻¹ de una mezcla comercial Ultrasol® microMix. Durante todo el ciclo de cultivo, el pH de la SN se ajustó entre 5.5 y 6.0 con H₂SO₄. La presión osmótica se mantuvo en -0.018, -0.036, -0.054, -0.072 y -0.090 MPa en los tratamientos, respectivamente. La unidad experimental consistió en cinco bolsas con sustrato, con una planta en cada bolsa, lo que dio un total de 125 plantas.

Durante el experimento se realizaron cuatro cosechas (C), a los 30, 60, 90 y 120 días después del trasplante, y se cuantificaron las siguientes variables:

Producción de materia fresca y seca por planta:

Se pesó la materia fresca aérea acumulada al momento en que los tallos alcanzaron tamaño comercial (15 cm). El corte se realizó 5 cm arriba de la superficie del sustrato para permitir la rebrotación. La cantidad de biomasa por planta se obtuvo a partir del promedio de la unidad experimental. Posteriormente, el material fresco se secó en una estufa (EI45-AIA, Novatech®, México) a 70 °C hasta peso constante para registrar la materia seca aérea acumulada y conocer su contenido de agua. La producción de materia fresca y seca total se estimó mediante la suma de la cantidad obtenida en las cuatro cosechas y considerando 15 plantas·m⁻².

Concentración de nitrógeno, fósforo y potasio (%):

Se realizó una extracción en digestión húmeda de acuerdo con los procedimientos descritos por Alcántar-González y Sandoval-Villa (1999). Para el caso del N, se utilizó una mezcla de ácido sulfúrico con ácido salicílico; mientras que para el P y K se usó una mezcla de ácido nítrico con

nutritional requirement of N, P and K for the crop was calculated with the nutritional concentration data obtained. From the values of fresh and dry matter per plant, the amount of dry matter needed to produce a ton of fresh matter was calculated, and based on its nutritional concentration the amount of nutrients needed to produce that amount of fresh matter was calculated.

Statistical analysis

With the results obtained from each harvest, an analysis of variance and a Tukey mean comparison test ($P \leq 0.05$) were performed using Statistical Analysis System software (SAS Institute, 2004). In addition, a quadratic adjustment was made between the NS concentration and the production of fresh matter.

Results and discussion

The five evaluated variables presented significant and highly significant statistical differences among the four harvest dates (HD) (Table 2).

Fresh and dry matter

In terms of biomass production, NS treatments at 50 and 75 % had the highest total fresh and dry matter production ($P \leq 0.05$), while those at 25 and 125 % had the lowest biomass production (Table 3). Both fresh and dry matter are the product of economic interest in the crop, and these results allow us to define that the 50 and 75 % Steiner NS concentrations are optimal for oregano production in hydroponic systems; however, the 50 % NS concentration represents a lower use of fertilizers compared to the 75 % one.

The results found coincide with those reported by Carrasco, Ramírez, and Vogel (2007), who indicated that the highest biomass production was achieved with the NS that had an electrical conductivity (EC) of $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, which is similar to that of Steiner's NS at 75 %. However, these results contrast with those obtained

ácido perclórico. El contenido total de N se determinó por el método semi-microkjeldahl, el P por colorimetría con un espectrofotómetro (DR2800, Hach®, EUA) y el K con un flamómetro (Flame Photometer 410, Sherwood®, Gran Bretaña).

Requerimiento nutrimental

Una vez identificada la concentración de la SN que indujo la mayor producción de materia fresca, se procedió a calcular el requerimiento nutrimental de N, P y K para el cultivo con los datos de concentración nutrimental obtenidos. A partir de los valores de materia fresca y seca por planta, se calculó la cantidad de materia seca necesaria para producir una tonelada de materia fresca, y con base en su concentración nutrimental se calculó la cantidad de nutrimentos necesarios para producir dicha cantidad de materia fresca.

Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos de cada corte, se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con ayuda del programa *Statistical Analysis System* (SAS Institute, 2004). Adicionalmente, se realizó un ajuste cuadrático entre la concentración de la SN y la producción de materia fresca.

Resultados y discusión

Las cinco variables evaluadas presentaron diferencias estadísticas significativas y altamente significativas entre las cuatro fechas de corte (FC) (Cuadro 2).

Materia fresca y seca

En cuanto a la producción de biomasa, los tratamientos de la SN al 50 y 75 % tuvieron la mayor producción de materia fresca y seca total ($P \leq 0.05$), mientras que los de 25 y 125 % fueron las concentraciones con menor producción de biomasa (Cuadro 3). Tanto la materia fresca como la seca son el producto de interés

Table 2. Mean squares and level of significance of the variables evaluated in Greek-type *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart for each harvest date.

Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia de las variables evaluadas en *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart tipo griego para cada fecha de cosecha.

Variable	¹ HD ₁ / ¹ FC ₁	HD ₂ /FC ₂	HD ₃ /FC ₃	HD ₄ /FC ₄
Fresh matter per plant (g)/Materia fresca por planta (g)	5.13**	49.28**	49.44**	349.06**
Biomass per plant (g)/Biomasa por planta (g)	0.10**	0.97**	0.62**	12.82**
Nitrogen concentration (%)/Concentración de nitrógeno (%)	0.41*	0.50*	0.80**	0.67**
Phosphorus concentration (%)/Concentración de fósforo (%)	0.03**	0.006 ^{ns}	0.01**	0.02**
Potassium concentration (%)/Concentración de potasio (%)	0.18 ^{ns}	0.48*	1.94**	8.11**

¹HD = harvest date; * = significance at 5 %; ** = significance at 1 %; ns = not significant.

¹FC = fecha de corte; * = significancia al 5 %; ** = significancia al 1 %; ns = no significativo.

Table 3. Effect of Steiner nutrient solution concentration on fresh and dry matter production in *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, on four harvest dates.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva de Steiner en la producción de materia fresca y seca en *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, en cuatro fechas de corte.

Steiner NS concentration (%)/ Concentración de la SN Steiner (%)	¹ HD ₁ (30 dat)/ ¹ FC ₁ (30 ddt)	HD ₂ (60 dat)/ FC ₂ (60 ddt)	HD ₃ (90 dat)/ FC ₃ (90 ddt)	HD ₄ (120 dat)/ FC ₄ (120 ddt)	TW (m ²)/ PT (m ²)
Fresh weight (g)/Peso fresco (g)					
25	2.16 ± 0.20 c ^z	12.02 ± 0.83 c	12.10 ± 0.77 c	29.62 ± 0.82 c	838.8 ± 34.7 c
50	3.44 ± 0.31 b	18.15 ± 0.29 ab	18.15 ± 0.30 ab	42.353 ± 2.09 b	1231.5 ± 30.6 ab
75	4.81 ± 0.78 a	19.73 ± 1.96 a	19.75 ± 1.98 a	52.231 ± 5.59 a	1448.0 ± 125.7 a
100	2.59 ± 0.35 b	16.16 ± 2.51 abc	16.88 ± 3.31 abc	45.04 ± 5.16 ab	1217.8 ± 157.1 b
125	2.59 ± 0.36 bc	13.76 ± 4.10 bc	13.76 ± 4.11 bc	38.38 ± 4.13 b	966.3 ± 252.3 bc
LSD/DMSH	0.84	4.46	4.82	55.19	275.97
CV	13.92	14.77	15.79	9.63	12.78
Dry weight (g)/Peso seco (g)					
25	0.41 ± 0.05 c ^z	1.75 ± 0.19 b	2.37 ± 0.17 ab	4.09 ± 0.47 d	25.91 ± 2.11 c
50	0.61 ± 0.02 b	2.80 ± 0.09 a	3.00 ± 0.02 a	6.48 ± 0.37 b	38.72 ± 1.36 ab
75	0.80 ± 0.07 a	2.41 ± 0.20 ab	2.51 ± 0.05 ab	7.99 ± 1.19 a	41.21 ± 4.06 a
100	0.55 ± 0.08 b	2.14 ± 0.68 ab	2.47 ± 0.64 ab	5.44 ± 0.32 bc	31.87 ± 4.82 bc
125	0.50 ± 0.07 b	1.79 ± 0.63 b	2.01 ± 0.50 b	4.39 ± 0.67 c	24.63 ± 6.83 c
LSD/DMSH	0.11	0.82	0.70	1.29	40.7
CV	10.41	19.97	15.09	11.99	13.25

¹HD = harvest date; dat = days after transplanting; TW = total weight considering 15 plants per m²; NS = nutrient solution; LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. ^zMeans with the same letter inside each column do not differ statistically (Tukey, P ≤ 0.05).

¹FC = fecha de corte; ddt = días después de trasplante; PT = peso total considerando 15 plantas por m²; SN = solución nutritiva; DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

by Juárez-Rosete, Olivo-Rivas, Aguilar-Castillo, Bugarín-Montoya, and Arrieta-Ramos (2014) in the cultivation of mint, another aromatic species of commercial importance established under the same production conditions used in the present study. These authors obtained the highest weight gain in aerial biomass with the NS at 125 %.

The significant decrease in biomass production on the four HDs with the NS at 25 and 125 % indicates, on the one hand, that the concentration of nutrients in the case of NS at 25 % does not supply the nutrient needs of the crop, mainly N. On the other hand, the NS at 125 % is excessive and induces nutrient absorption problems because it has a high osmotic potential, which limits the absorption of ions by the root (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

Biomass production is a function of time, which has facilitated the successful prediction of dry matter production throughout the growth cycle in crops such as corn, wheat and some olericultural species such as lettuce, radish and Chinese cabbage (Bugarín-Montoya et al., 2011). However, in the case of resprouting leaf species, biomass production has a different dynamic,

económico en el cultivo, y dichos resultados permiten definir que la SN de Steiner al 50 y 75 % es óptima para la producción de orégano en sistemas hidropónicos; sin embargo, la SN al 50 % representa un menor uso de fertilizantes con respecto a la de 75 %.

Los resultados encontrados coinciden con los reportados por Carrasco, Ramírez, y Vogel (2007), quienes indicaron que la mayor producción de biomasa se logró con la SN que tuvo una conductividad eléctrica (CE) de 1.5 dS·m⁻¹, la cual es similar a la que tiene la SN de Steiner al 75 %. No obstante, dichos resultados contrastan con los obtenidos por Juárez-Rosete, Olivo-Rivas, Aguilar-Castillo, Bugarín-Montoya, y Arrieta-Ramos (2014) en el cultivo de menta, otra especie aromática de importancia comercial establecida bajo las mismas condiciones de producción utilizadas en el presente estudio. Estos autores obtuvieron la mayor ganancia de peso en biomasa aérea con la SN al 125 %.

La disminución significativa de la producción de biomasa en las cuatro FC con la SN al 25 y 125 % indica, por un lado, que la concentración de nutrientes en el caso de SN al 25 % no abastece la necesidad nutrimental del cultivo, principalmente de N. Por otro lado, la SN

because after each harvest there is an increase in the number of stems that resprout.

In general, when oregano is cultivated for fresh consumption, harvests are made every 30 days (Juárez-Rosete et al., 2013), and if it is for the production of dry leaves, the plants are not harvested until floral buds are formed. In order to quantify the nutritional requirement, it is important to know the amount of nutrients extracted by the crop at the time of harvest, when its growth and development have taken place under optimal conditions. In this sense, it was observed that the highest biomass production was achieved with the Steiner NS at 50 and 75 %; however, the nutritional requirement calculations of the crop were made with the SN at 50 %, for representing savings in the use of fertilizers.

Nitrogen

The N concentration shows significant statistical differences among treatments on the four HDs. The highest N concentration was recorded in the NS with 100 and 125 % concentration (from 3.06 to 3.46 % N); however, these treatments did not have higher biomass production, indicating that these N are excessive for this crop. The levels of this element obtained by the NS at 50 and 75 % are in an interval of 2.55 to 3.16 %, which can be considered as optimal (Table 4).

As the NS concentration increased (100 and 125 %), so did the N content. Azizi, Yan, and Honermeier (2009) indicated that excess N supply has other repercussions on the oregano crop, such as a significant decrease in the concentration of essential oils, which is another aspect of interest in the production of this crop. In this sense,

al 125 % es excesiva e induce problemas de absorción de nutrientes por poseer un potencial osmótico alto, lo cual limita la absorción de iones por la raíz (Trejo-Téllez & Gómez-Merino, 2012).

La producción de biomasa está en función del tiempo, lo que ha facilitado predecir de manera exitosa la producción de materia seca a lo largo del ciclo de crecimiento en cultivos como maíz, trigo y algunas especies olerícolas como lechuga, rábano y col china (Bugarín-Montoya et al., 2011). Sin embargo, en el caso de especies de hojas que rebrotan, la producción de biomasa posee una dinámica diferente, debido a que después de cada corte hay un incremento en el número de tallos que rebrotan.

En general, cuando el orégano es cultivado para consumo en fresco se realizan cortes cada 30 días (Juárez-Rosete et al., 2013), y si es para la producción de hojas secas, las plantas se cosechan hasta que se forman yemas florales. Para cuantificar el requerimiento nutrimental interesa conocer la cantidad de nutrientes que extrajo el cultivo al momento de la cosecha, cuando su crecimiento y desarrollo han sido en condiciones óptimas. En ese sentido, se observó que la mayor producción de biomasa se logró con la SN de Steiner al 50 y 75 %; sin embargo, los cálculos de requerimiento nutrimental del cultivo se hicieron con la SN al 50 %, por representar ahorro en el uso de fertilizantes.

Nitrógeno

La concentración de N muestra diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, en las cuatro FC. La mayor concentración de N se registró en las SN con 100 y 125 % de concentración (de 3.06 a 3.46 % de N);

Table 4. Effect of Steiner nutrient solution concentration on nitrogen content (%) in biomass of *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, on four harvest dates.

Cuadro 4. Efecto de concentración de la solución nutritiva de Steiner en el contenido de nitrógeno (%) en biomasa de *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, en cuatro fechas de corte.

Steiner NS concentration (%) / Concentración de la SN Steiner (%)	¹ HD ₁ (30 dat) / ¹ FC ₁ (30 ddt)	HD ₂ (60 dat) / FC ₂ (60 ddt)	HD ₃ (90 dat) / FC ₃ (90 ddt)	HD ₄ (120 dat) / FC ₄ (120 ddt)
25	2.59 ± 0.08 b ^z	2.79 ± 0.01 ab	2.19 ± 0.14 b	2.98 ± 0.28 ab
50	2.69 ± 0.03 ab	2.92 ± 0.33 ab	2.66 ± 0.10 ab	3.16 ± 0.12 ab
75	2.79 ± 0.01 ab	2.57 ± 0.63 b	2.85 ± 0.69 a	2.55 ± 0.72 b
100	3.07 ± 0.01 ab	3.39 ± 0.08 a	3.06 ± 0.01 a	3.41 ± 0.20 a
125	3.28 ± 0.01 a	3.16 ± 0.08 ab	3.23 ± 0.06 a	3.46 ± 0.10 a
LSD/DMSH	0.59	0.68	0.60	0.69
CV	10.80	12.18	3.2	11.75

¹HD = harvest date; dat = days after transplanting; NS = nutrient solution; LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, P ≤ 0.05).

¹FC = fecha de corte; ddt = días después de trasplante; SN = solución nutritiva; DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

it is essential to identify the NS concentration that does not cause excessive nitrogenous nutrition, and that also allows for the highest biomass production.

N is one of the nutrients responsible for vegetative growth; however, it does not follow an infinite linear trend, as crops reach a saturation point of the element (Alejo-Santiago et al., 2015), which leads to a decrease in biomass production. One explanation for this behavior is the dynamics that N follows in the plant, since once it is absorbed and reaches the leaves it undergoes a conversion to ammonium to continue its route towards protein formation. This N reduction implies carbon oxidation (Xu, Fan, & Miller, 2012), which is a process of energetic wear that affects the accumulation of biomass. Barreyro, Ringuelet, and Agrícola (2005) also found a yield-decreasing effect by raising the N dose from 80 to 120 kg·ha⁻¹ in oregano production in the field; this confirms that an excess of nitrogen fertilizer affects yield.

Phosphorus

The P concentration in biomass showed statistically significant differences on three HDs. The NS that caused the highest concentration of this element was 125 %, while the NS at 25 % had the lowest value. The 50 and 75 % NS concentrations had P values between 0.35 and 0.48 % (Table 5).

Although there is a significant statistical difference in the P concentration due to treatment effects, the levels fluctuated between 0.31 and 0.51 %, which are considered optimal in most crops. One of the factors that most influence P absorption in crops is the pH of

sin embargo, estos tratamientos no reportaron mayor producción de biomasa, lo que indica que tales concentraciones de N para este cultivo son excesivas. Los niveles de este elemento que reportaron la SN al 50 y 75 % se encuentran en un intervalo de 2.55 a 3.16 %, los cuales pueden considerarse como óptimos (Cuadro 4).

En la medida en que la concentración de la SN fue mayor (100 y 125 %), el contenido de N también lo fue. Azizi, Yan, y Honermeier (2009) indicaron que el suministro de N en exceso tiene otras repercusiones en el cultivo de orégano, como la disminución significativa de la concentración de aceites esenciales, lo cual es otro aspecto de interés en la producción de este cultivo. En este sentido, es primordial identificar la concentración de SN que no cause una nutrición nitrogenada excesiva, y que además permita la mayor producción de biomasa.

El N es uno de los nutrientes responsables del crecimiento vegetativo; sin embargo, no sigue una tendencia lineal infinita, sino que los cultivos llegan a un punto de saturación del elemento (Alejo-Santiago et al., 2015), lo que conlleva a una disminución en la producción de biomasa. Una explicación a este comportamiento es la dinámica que sigue el N en la planta, ya que una vez que se absorbe y llega a las hojas sufre una conversión a amonio para continuar su ruta hacia la formación de proteína. Tal reducción de N implica la oxidación de carbonos (Xu, Fan, & Miller, 2012), lo cual es un proceso de desgaste energético que afecta la acumulación de biomasa. Barreyro, Ringuelet, y Agrícola (2005) también encontraron un efecto de disminución del rendimiento al elevar la dosis de N de 80 a 120 kg·ha⁻¹ en la producción de orégano en campo; esto confirma que un exceso de fertilizante nitrogenado afecta el rendimiento.

Table 5. Effect of Steiner nutrient solution concentration on phosphorus content (%) in biomass of *Origanum vulgare* ssp. (Link) Ietswaart, on four harvest dates.

Cuadro 5. Efecto de concentración de la solución nutritiva de Steiner en el contenido de fósforo (%) en biomasa de *Origanum vulgare* ssp. (Link) Ietswaart, en cuatro fechas de corte.

Steiner NS concentration (%) / Concentración de la SN Steiner (%)	¹ HD ₁ (30 dat) / ¹ FC ₁ (30 ddt)	HD ₂ (60 dat) / FC ₂ (60 ddt)	HD ₃ (90 dat) / FC ₃ (90 ddt)	HD ₄ (120 dat) / FC ₄ (120 ddt)
25	0.36 ± 0.004 c ^z	0.40 ± 0.016 a	0.31 ± 0.028 c	0.35 ± 0.024 c
50	0.42 ± 0.004 bc	0.48 ± 0.008 a	0.35 ± 0.008 bc	0.45 ± 0.036 ab
75	0.40 ± 0.101 c	0.44 ± 0.114 a	0.39 ± 0.095 abc	0.37 ± 0.091 bc
100	0.50 ± 0.008 a	0.47 ± 0.004 a	0.42 ± 0.028 ab	0.45 ± 0.028 ab
125	0.56 ± 0.287 a	0.49 ± 0.004 a	0.46 ± 0.008 a	0.51 ± 0.012 a
LSD/DMSH	0.08	0.097	0.08	0.08
CV	9.97	11.16	11.82	10.87

¹HD = harvest date; dat = days after transplanting; NS = nutrient solution; LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. ^zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, P ≤ 0.05).

¹FC = fecha de corte; ddt = días después de trasplante; SN = solución nutritiva; DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación. ^zMedias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

the NS, and in this research it remained between 5.5 and 6.0 during the production cycle, so an increase was observed in the absorption of the nutrient as the NS concentration increased. Pal et al. (2016) obtained a P concentration of 0.25 % with a 125-250 kg·ha⁻¹ dose of this element and a yield of 18.60 t·ha⁻¹ of fresh matter. In this sense, it is inferred that the P concentration in the present research was in the sufficiency ranges.

Oregano is a crop that can withstand high P levels without presenting phytotoxic problems. In this regard, Karagiannidis, Thomidis, Lazari, Panou-Filotheou, and Karagiannidou (2011) achieved P concentrations of 0.90 % by incorporating mycorrhizal fungi (*G. etunicatum* and *G. lamellosum*) in the management of this same crop, while without mycorrhizae they obtained a concentration of 0.10 %. These values, apparently high, did not negatively affect biomass production, although in the present experiment the P concentration was not increased to such levels.

The P concentration that occurs in biomass can be explained by the function that this element plays in plants and the fact its route ends in the seed, when the organ of interest is seed production, as reported by Dordas (2009), who indicates that there is a strong translocation of P and N from vegetative tissues to grain development. In the case of oregano, the economic interest is the production of fresh or dry matter; therefore, the plant does not complete its life cycle and does not reach the stage of flower and fruit production, which causes an accumulation of P in the tissue.

Fósforo

La concentración de P en biomasa mostró diferencias estadísticas significativas en tres FC. La SN que provocó mayor concentración de este elemento fue la de 125 %, mientras que la SN a 25 % fue la que tuvo el menor valor. La SN al 50 y 75 % reportaron valores de P entre 0.35 y 0.48 % (Cuadro 5).

Aunque existe diferencia estadística significativa en la concentración de P por efecto de tratamientos, los niveles fluctuaron en un intervalo de 0.31 a 0.51 %, los cuales se consideran óptimos en la mayoría de los cultivos. Uno de los factores que más influyen en la absorción de P en los cultivos es el pH de la SN, y en esta investigación se mantuvo entre 5.5 y 6.0 durante el ciclo de producción, por lo que se observó un aumento en la absorción del nutrimento conforme incrementó la concentración de la SN. Pal et al. (2016) obtuvieron una concentración de P de 0.25 % con una dosis de este elemento de 125 a 250 kg·ha⁻¹ y con rendimiento de 18.60 t·ha⁻¹ de materia fresca. En este sentido, se infiere que la concentración de P en la presente investigación estuvo en los rangos de suficiencia.

El orégano es un cultivo que puede soportar altos niveles de P sin presentar problemas fitotóxicos. Al respecto, Karagiannidis, Thomidis, Lazari, Panou-Filotheou, y Karagiannidou (2011) lograron concentraciones de P de 0.90 % al incorporar hongos micorrízicos (*G. etunicatum* y *G. lamellosum*) en el manejo de este mismo cultivo, mientras que sin micorrizas obtuvieron una concentración de 0.10 %. Dichos valores, aparentemente

Table 6. Effect of Steiner nutrient solution concentration on potassium content (%) in biomass of *Origanum vulgare* ssp. (Link) Ietswaart, on four harvest dates.

Cuadro 6. Efecto de concentración de la solución nutritiva de Steiner en el contenido de potasio (%) en biomasa de *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart, en cuatro fechas de corte.

Steiner NS concentration (%) / Concentración de la SN Steiner (%)	¹ HD ₁ (30 dat) / ¹ FC ₁ (30 ddt)	HD ₂ (60 dat) / FC ₂ (60 ddt)	HD ₃ (90 dat) / FC ₃ (90 ddt)	HD ₄ (120 dat) / FC ₄ (120 ddt)
25	2.85 ± 0.012 a ²	3.05 ± 0.376 a	1.79 ± 0.162 b	2.70 ± 0.170 c
50	3.27 ± 0.008 a	3.20 ± 0.213 a	1.64 ± 0.027 b	4.12 ± 1.024 b
75	2.82 ± 0.702 a	2.50 ± 0.772 a	2.63 ± 0.628 a	5.28 ± 0.107 a
100	2.95 ± 0.043 a	2.56 ± 0.107 a	2.78 ± 0.055 a	5.73 ± 0.451 a
125	3.14 ± 0.004 a	2.95 ± 0.051 a	3.04 ± 0.111 a	5.57 ± 0.170 a
LSD/DMSH	0.59	0.75	0.55	0.97
CV	10.44	13.98	12.41	10.96

¹HD = harvest date; dat = days after transplanting; NS = nutrient solution; LSD = least significant difference; CV = coefficient of variation. zMeans with the same letter within each column do not differ statistically (Tukey, P ≤ 0.05).

¹FC = fecha de corte; ddt = días después de trasplante; SN = solución nutritiva; DMSH = diferencia mínima significativa honesta; CV = coeficiente de variación.

²Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P ≤ 0.05).

Potassium

The K concentration showed significant statistical differences due to treatment effects on HD₃ and HD₄, while in the first two harvests there was no statistical difference. The NS at 75, 100 and 125 % presented the highest K concentration (Table 6). This probably happened because as the NS concentration increased, the concentration of ions increased, including K, which favored higher absorption by the plant. According to Marschner (2012), two mechanisms can operate in the absorption of K, depending on the K concentration on the outside of the roots. Mechanism I occurs when the K concentration in the medium in which the roots grow is less than 0.5 mmol·L⁻¹, and the absorption of K is more selective. For its part, mechanism II operates in concentrations greater than 50 mmol·L⁻¹, and the absorption process is less selective.

Economakis (1993) reported that a K concentration ranging from 150 to 450 mg·L⁻¹ in the NS did not have a significant effect on plant growth; although the author does not report the nutrient concentration, the study was carried out with the same K concentrations in the NS as in the present research. This information allows inferring that K can accumulate in the biomass, but it does not precisely lead to a significant increase in vegetative material production.

Nutritional requirement

The production of fresh matter showed a significant difference ($P \leq 0.05$), and the NS at 50 and 75 % had the

elevados, no afectaron negativamente la producción de biomasa, aunque en el presente experimento no se incrementó a tales niveles la concentración de P.

La concentración de P que se presenta en biomasa se puede explicar por la función que desempeña este elemento en las plantas y su ruta que finaliza en la semilla, cuando el órgano de interés es la producción de semilla, como lo reporta Dordas (2009), quien indica que existe una fuerte traslocación de P y N, de los tejidos vegetativos hacia el desarrollo de grano. En el caso del orégano, el interés económico es la producción de materia fresca o seca; por lo tanto, la planta no culmina su ciclo de vida y no llega a la producción de flor y fruto, esto ocasiona una acumulación del P en el tejido.

Potasio

La concentración de K mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de tratamientos en la FC₃ y la FC₄, mientras que en los dos primeros cortes no hubo diferencia estadística. Las SN al 75, 100 y 125 % presentaron la concentración más alta de K (Cuadro 6). Probablemente esto ocurrió debido a que al incrementar la concentración de la SN, aumentó la concentración de los iones, incluido el K, lo cual favoreció una mayor absorción por la planta. De acuerdo con Marschner (2012), en la absorción del K pueden operar dos mecanismos dependiendo de la concentración de K en el exterior de las raíces. El mecanismo I sucede cuando la concentración de K en el medio que crecen las raíces es menor de 0.5 mmol·L⁻¹, y la absorción de K es más selectivo. Por su parte, el mecanismo II opera

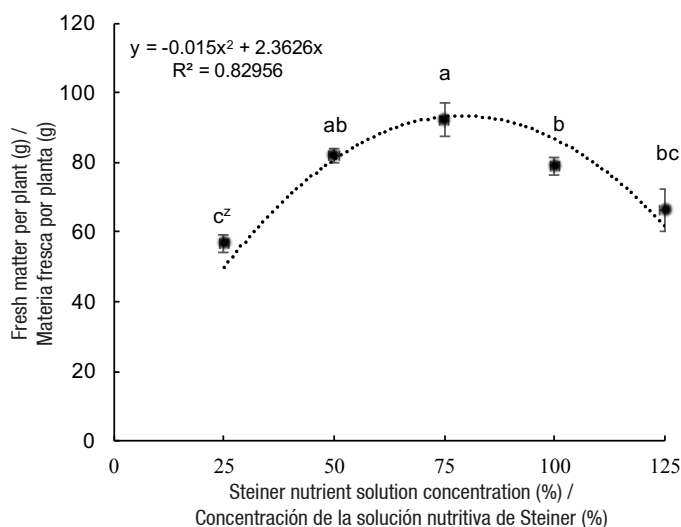


Figura 1. Efecto de concentración de la solución nutritiva de Steiner en la producción total de biomasa fresca en *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. $Pr > t$ ($\alpha = 0.03$; $x^2 = 0.03$). Las líneas verticales indican los errores estándar ($n = 5$). ^zMedias con la misma letra entre concentraciones no difieren estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$).

Figure 1. Effect of Steiner nutrient solution concentration on total fresh biomass production in *Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart. $Pr > t$ ($\alpha = 0.03$; $x^2 = 0.03$). Vertical lines indicate standard errors ($n = 5$). ^zMeans with the same letter among concentrations do not differ statistically (Tukey, $P \leq 0.05$).

highest total biomass production compared to the other treatments. The nutritional requirement was estimated with the treatments of greatest total fresh matter production and their concentration of N, P and K; in this case, the concentrations that stood out were those of 50 and 75 % with significant coefficients (Figure 1). The 50 % NS was considered for the calculation of nutritional requirement since it is more economical as it uses less fertilizer. On the other hand, the amount of dry matter in a ton of fresh matter is equivalent to 167.24 kg, due to the fact that the tissue consists of 83.28 % water. The concentration of N, P, and K in dry matter for this treatment was 2.85, 0.42 and 3.05 %, respectively (Table 4, 5 and 6); therefore, the nutritional requirement of oregano was estimated at 4.76 kg of N, 0.70 kg of P and 5.10 kg of K, per ton of fresh matter.

Conclusions

The highest yield in fresh and dry matter in oregano was obtained with the Steiner NS at 50 and 75 % concentration. However, considering the cost of fertilizers, it is recommended to use the NS at 50 % for the commercial production of oregano in hydroponic systems, since it guarantees an optimal nutritional supply. The nutritional requirement of the crop to produce one ton of fresh matter is 4.76 kg of N, 0.70 kg of P and 5.10 kg of K.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar-Murillo, X., Valle-Meza, G., González-Rosales, G., & Murillo-Amador, B. (2013). *Guía de cultivo de orégano*. México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Retrieved from <http://docplayer.es/3436804-Guia-de-cultivo-de-oregano.html>
- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Chapingo, México: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Sánchez-Hernández, R., Salcedo-Pérez, E., García-Paredes, J. D., & Jiménez-Meza, V. M. (2015). Determination of the nitrogen requirement for habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 21(3), 215-227. doi: 10.5154/r.chsh.2014.04.015
- Azizi, A., Yan, F., & Honermeier, B. (2009). Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), 554-561. doi: 10.1016/j.indcrop.2008.11.001
- Barreyro, R., Ringuet, J., & Agrícola, S. (2005). Fertilización nitrogenada y rendimiento en orégano (*Origanum x*

en concentraciones mayores de 50 mmol·L⁻¹, y es menos selectivo el proceso de absorción.

Economakis (1993) reportó que la concentración de K en la SN en un rango de 150 a 450 mg·L⁻¹ no tuvo efecto significativo en el crecimiento de la planta; aunque no reporta la concentración nutrimental, el estudio se realizó con las mismas concentraciones de K en la SN que en la presente investigación. Esta información permite inferir que el K puede acumularse en la biomasa, pero no precisamente conlleva a un incremento significativo en producción de material vegetativo.

Requerimiento nutrimental

La producción de materia fresca presentó diferencia significativa ($P \leq 0.05$), y las SN al 50 y 75 % tuvieron la mayor producción de biomasa total en comparación con los demás tratamientos. El requerimiento nutrimental se estimó con los tratamientos de mayor producción de materia fresca total y su concentración de N, P y K; en este caso, las concentraciones que destacaron fueron las de 50 y 75 % con coeficientes significativos (Figura 1). Se consideró la SN al 50 % para el cálculo de requerimiento nutrimental ya que es más económica, por utilizar menos fertilizante. Por su parte, la cantidad de materia seca en una tonelada de materia fresca equivale a 167.24 kg, debido a que el tejido posee 83.28 % de agua. La concentración de N, P, y K en materia seca para dicho tratamiento fue de 2.85, 0.42 y 3.05 %, respectivamente (Cuadro 4, 5 y 6); por lo que el requerimiento nutrimental del orégano se estimó en 4.76 kg de N, 0.70 kg de P y 5.10 kg de K, por tonelada de materia fresca.

Conclusiones

El rendimiento mayor en materia fresca y seca en orégano se obtuvo con las SN de Steiner al 50 y 75 % de concentración. Sin embargo, considerando el costo de los fertilizantes, se recomienda utilizar la SN al 50 % para la producción comercial de orégano en sistemas hidropónicos, ya que garantiza un suministro nutrimental óptimo. El requerimiento nutrimental del cultivo para producir una tonelada de materia fresca es 4.76 kg de N, 0.70 kg de P y 5.10 kg de K.

Fin de la versión en español

aplii). *Ciencia e Investigación Agraria*, 32(1), 34-43. doi: 10.7764/rcia.v32i1.305

- Bonfanti, C., Ianni, R., Mazzaglia, A., Lanza, C. M., Napoli, E. M., & Ruberto, G. (2012). Emerging cultivation of oregano in Sicily: Sensory evaluation of plants and chemical composition of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 160-165. doi: 10.1016/j.indcrop.2011.06.029

- Bugarín-Montoya, R., Virgen-Ponce, M., Galvis-Spinola, A., García-Paredes, D., Hernández-Mendoza, T., Bojorquez-Serrano, I., & Madueño-Molina, A. (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro*, 23(2), 93-98. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/857/85719245003/>
- Carrasco, G., Ramírez, P., & Vogel, H. (2007). Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. *Idesia*, 25(2), 59-62. doi: 10.4067/S0718-34292007000200007
- DeFalco, E., Rozigno, G., Landolfi, S., Scandolera, E., & Senatore, F. (2014). Growth, essential oil characterization, and antimicrobial activity of three wild biotypes of oregano under cultivation condition in Southern Italy. *Industrial Crops and Products*, 62, 242-249. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.08.037
- Dordas, C. (2009). Dry matter, nitrogen and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization as affected by N and P fertilization and source-sink relations. *European Journal of Agronomy*, 30(2), 129-139. doi: 10.1016/j.eja.2008.09.001
- Economakis, C. D. (1993). Effect of potassium on growth and yield of *Oiganum dictamnus* L. in solution culture. *Acta Horticulturae*, 331, 339-344. doi: 10.17660/ActaHortic.1993.331.46
- Flores-Hernández, A., Hernández-Herrera, J. A., López-Medrano, J. I., Valenzuela-Núñez, L. M., Martínez-Salvador, M., & Madinaveitia-Ríos, H. (2011). Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) bajo cultivo en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 1113-1120. Retrieved from <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/view/162>
- Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Juárez-Rosete, M. E., Bugarín-Montoya, R., Juárez-López, P., & Cruz-Crespo, E. (2013). Hierbas aromáticas y medicinales en México: tradición e innovación. *Revista Bio ciencias*, 2(3), 119-129. doi: 10.15741/rev%20bio%20ciencias.v2i3.42
- Juárez-Rosete, C. R., Olivo-Rivas, A., Aguilar-Castillo, J. A., Bugarín-Montoya, R., & Arrieta-Ramos, B. G. (2014). Nutrition assessment of N-P-K in mint (*Mentha spicata* L.) cultivated in soilless system. *Annual Research & Review in Biology*, 4(15), 2462-2470. doi: 10.9734/ARRB/2014/9379
- Karagiannidis, N., Thomidis, T., Lazari, D., Panou-Filotheou, E., & Karagiannidou, C. (2011). Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 329-334. doi: 10.1016/j.scienta.2011.03.043
- Marschner, H. (2012). *Mineral nutrition of higher plants*. San Diego California, USA: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-473542-2.X5000-7
- Pal, J., Adhikari, R. S., & Negi, J. S. (2016). Effect of different level of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and green herb yield of *Origanum vulgare*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 5(2), 425-429. doi: org/10.20546/ijcmas.2016.502.047
- Pedraza, R., & Henao, M. C. (2008). Composición del tejido vegetal y su relación con variables de crecimiento y niveles de nutrientes en cultivos comerciales de menta (*Mentha spicata* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 186-196. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/13494/14182>
- Said-Al Ahl, H., Ayad, H. S., & Hendawy, S. F. (2009). Effect of potassium humate and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano under different irrigation intervals. *Journal of Applied Sciences*, 2(3), 319-323. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/267034567_EFFECT_OF_POTASSIUM_HUMATE_AND_NITROGEN_FERTILIZER_ON_HERB_AND_ESSENTIAL_OIL_OF_OREGANO_UNDER_DIFFERENT_IRRIGATION_INTERVALS_Department_of_Cultivation_and_Production_of_Medicinal_and_Aromatic_Plants
- Salas-Portugal, F., & Alagon-de la Sota, P. C. (2016). *Producción y exportación de orégano de la Región de Tacna*. Perú: Dirección Regional Agricultura de Tacna. Retrieved from http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/oregano/produccion_exportacion_oregano.pdf
- Sarikurkcü, C., Zengin, G., Oskay, M., Uysal, S., Ceylan, R., & Aktumsek, A. (2015). Composition, antioxidant, antimicrobial and enzyme inhibition activities of two *Origanum vulgare* subspecies (Subsp. *vulgare* and subsp. *hirtum*) essential oils. *Industrial Crops and Products*, 70, 178-184. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.030
- Sotiropoulou, D. E., & Karamanos, A. J. (2010). Field studies of nitrogen application on growth and yield of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) leestwaart). *Industrial Crops and Products*, 32, 450-457. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.01.021
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2004). *SAS User's Guide version 9.4*. Cary N.C., USA: Author.
- Steiner A. A. (1984). The universal nutrient solution. *Proceedings sixth international congress on soilless culture*, 633-650.
- Trejo-Téllez, L. I., & Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. In: Asao, T. (Ed.), *Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches* (pp. 2-22). China: InTech. doi: 10.5772/37578
- Xu, G., Fan, X., & Miller, A. J. (2012). Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 153-182. doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105532
- Yeritsyan, N., & Economakis, C. (2002). Effect of nutrient solution's iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants grown in solution culture. *Acta Horticulture*, 576, 277-283. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.576.41