

EFECTO DEL RIEGO, TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTAL SOBRE COMPUESTOS FENÓLICOS Y LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ORÉGANO

Effect of irrigation, environmental temperature and humidity on
phenolic compounds and antioxidant activity in oregano

María Isabel Nieto Ramírez, Juan Fernando García Trejo,
Ana Angélica Feregrino Pérez, Ramón Gerardo Guevara González,
Benito Parra Pacheco.

Universidad Autónoma de Querétaro

Autor de correspondencia
isabelnieto33@gmail.com

RESUMEN

El orégano (*Lippia graveolens*) es una planta usada principalmente en la medicina tradicional como antimicrobiano y en la gastronomía como condimento. Las propiedades terapéuticas por las que se caracteriza son conferidas debido a metabolitos secundarios como los fenoles y flavonoides. La concentración de estos compuestos puede ser influenciada por las condiciones de cultivo como el tipo de riego, la temperatura y la humedad del ambiente que representan un estrés abiótico. Por ello, el objetivo de este trabajo fue comparar el riego, la temperatura y humedad del ambiente en el orégano (*Lippia graveolens*), para cumplirlo se obtuvieron plantas de orégano comerciales, de las cuales se colocaron 14 plantas en invernadero y 14 plantas en cielo abierto, teniendo dos sistemas de riego: a) agua con solución nutritiva y b) agua residual acuícola. Además, se monitoreo la temperatura de los dos sistemas de cultivo.

En cada planta se determinó de manera espectrofotométrica la concentración de fenoles, flavonoides totales y la capacidad antioxidante. Los resultados presentaron las concentraciones máximas de compuestos fenólicos en las plantas cultivadas en invernadero a temperaturas entre 22 y 17 °C, regadas con agua residual acuícola. Por otra parte, las concentraciones máximas de flavonoides se presentaron en las plantas cultivadas en campo a una temperatura entre 45 y 11°C, regadas con agua residual acuícola. La capacidad antioxidante máxima se mostró en las plantas cultivadas en invernadero, regadas con agua con solución nutritiva. En conclusión, existe un efecto por el tipo de riego, teniendo un incremento en los compuestos fenólicos cuando las plantas son regadas con agua residual acuícola. Además, los diferentes cambios de temperatura y humedad ambiental afectan considerablemente la concentración de compuestos fenólicos en plantas de orégano.

Palabras clave: bio, biosíntesis, cultivo, fenoles, flavonoides, metabolitos secundarios.

ABSTRACT

Oregano is a plant mainly used in traditional medicine as an antimicrobial and as a condiment in gastronomy. Secondary metabolites like phenols and flavonoids provide this plant with medicinal properties. The concentration of these compounds could be influenced by abiotic stress (culture conditions as irrigation, environmental temperature and humidity). In this work, irrigation, environmental temperature and humidity were compared with phenols, flavonoids and antioxidant activity production in oregano. The plants were bought and separated in two different cultures; greenhouse and field crop, with 14 plants in each. Additionally, each culture had two irrigations types, first, with fertilizer water and second aquaculture residual water. Also, ambient temperature and relative humidity were monitored in each culture.

Total phenols, flavonoids and antioxidant activity were determined by spectrophotometric methods. The highest phenols concentration was obtained in plants culture in greenhouse at 22 to 17 °C, irrigated with aquaculture residual water. The highest flavonoids concentration was obtained in plants cultured in field crop at 45 to 11 °C, irrigated with aquaculture residual water. The highest antioxidant activity was found in plants cultured in greenhouse, irrigated with fertilized water. In conclusion, phenolic compound concentration increased in plants irrigated with aquaculture residual water. In addition, different environmental temperature and humidity affect phenolic compound concentrations in oregano.

Keywords: biosynthesis, culture, flavonoids, phenols, secondary metabolites

INTRODUCCIÓN

El orégano es una planta aromática y se denomina así a más de 40 especies de diferentes familias [1], [2]. Se encuentra principalmente en lugares con clima muy variado, pero principalmente en climas áridos y



semiáridos [3], [4]. Se usa comúnmente como condimento y actualmente es cotizado por la industria cosmética, alimenticia y farmacéutica [5]. Por sus propiedades medicinales, se utiliza como tratamiento contra enfermedades respiratorias, diabetes, desordenes menstruales y como antimicrobiano, principalmente [5], [6], [7]. *Lippia graveolens* contiene en su aceite esencial metabolitos secundarios como el carvacrol, el timol y sus precursores como γ -terpineno y *p*-cimeno [8]. La concentración en conjunto de estos compuestos es de 59.8 mg/g en peso seco de acuerdo con algunos autores [9]. Estos metabolitos están clasificados como compuestos fenólicos y flavonoides, entre otros, que le confieren las propiedades medicinales importantes a la planta. Estudios recientes han demostrado que los metabolitos secundarios en el orégano (*Lippia graveolens*) tienen un efecto protector contra rayos UV [10]. Además, se demostró [11] que el carvacrol puede ser usado como un tratamiento contra el daño renal debido a la supresión del estrés oxidativo e inflamación generada.

Estos compuestos se producen en la planta de acuerdo con las necesidades de la misma, es decir, los compuestos fenólicos ayudan a contrarrestar el estrés oxidativo, mientras que los flavonoides protegen a la planta contra patógenos [12]. Por otro lado, se sabe que las condiciones ambientales como temperatura, humedad relativa, radiación e incluso el riego pueden causar cambios en la producción de los compuestos activos en las plantas [13]. Se determinó la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides en *Sasa quelpaertensis* durante diferentes estaciones del año [14]. Ante ello, los resultados presentaron una disminución en la concentración de compuestos específicos tales como el ácido *p*-cumárico y tricina entre junio y octubre. Además, el contenido total de fenoles y flavonoides incrementó gradualmente en el mes de octubre obteniendo la concentración más alta durante diciembre.

México es el segundo productor de orégano a nivel mundial [15]. Su cultivo se realiza

principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Querétaro, Tamaulipas, Jalisco, Zacatecas, Coahuila, Hidalgo y Baja California [4]. En la actualidad, existen paquetes tecnológicos para el manejo del orégano, cuyo fin es el aporte innovador sobre prácticas silviculturales [16]. El manejo descrito en estos manuales o paquetes tecnológicos refieren las buenas prácticas de labranza y manejo del cultivo como la temperatura, humedad relativa, pH del suelo y las condiciones de riego requeridos para el desarrollo correcto de la planta [4], [17].

Por la alta demanda de esta especie, se han estudiado condiciones de cultivo que puedan mejorar la producción. Flores *et al.* [18] realizaron pruebas en un cultivo de orégano a diferentes porcentajes de humedad en suelo, resultando que la humedad 2/3 de la capacidad de campo del suelo es la mejor para el rendimiento de la planta. Por otro lado, Teraza *et al.* [19] lograron incrementar el contenido de carvacrol, principal compuesto del orégano, al cultivar la planta en altas radiaciones. De acuerdo con esto el objetivo de este trabajo es comparar las condiciones de cultivo sobre la producción de fenoles, flavonoides totales y su capacidad antioxidante en orégano (*Lippia graveolens*).

METODOLOGÍA

Materiales y Métodos

Para la experimentación de este trabajo, se obtuvieron comercialmente 28 plantas de orégano y se colocaron 14 plantas en invernadero y 14 en cultivo a cielo abierto. Se aclimataron por 5 días en las condiciones de cada sistema de cultivo. También se realizaron dos tipos de riego en cada cultivo a capacidad de campo de 2/3 por las mañanas y las tardes. Uno de los sistemas de riego se llevó a cabo con agua con solución nutritiva y otro con agua residual acuícola. Se monitoreó la temperatura ambiental y la humedad relativa por medio de

sensores automatizados. Además, se determinó la calidad del agua para cada sistema de riego. El diseño experimental fue factorial de 2x2, es decir, dos tipos de cultivo y dos tipos de riego. La Figura 1 expone los pasos generales para la realización de este trabajo.

La calidad del agua se determinó por análisis espectrofotométricos. El análisis de nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$) fue por el método de diazotización (Método HACH 8507, 2010; adaptado de USEPA, 1979), nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) mediante el método de reducción de cadmio (método HACH 8171, 2010) y fósforo total (FT) por el método de molibdovanadato (Método HACH 8048, 2010; adaptado de USEPA Standard Method 4500-P for Wastewater).

La determinación de los compuestos activos se llevó a cabo después de cada elicitación. Primero se realizó una extracción por el

método descrito por Hassan *et al.* (2011). Las determinaciones de los compuestos fenólicos se realizaron por el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965), los flavonoides totales por el método de 2-aminoetilfenilborato y la capacidad antioxidante se determinó por el método DPPH y FRAP. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro DR6000 a las absorbancias indicadas por cada método.

El análisis estadístico que se realizó fue ANOVA de una sola vía con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los resultados se procesaron en el paquete estadístico STATGRAPHICS centurión XV. Las figuras con los resultados de temperatura, humedad relativa, compuestos fenólicos, flavonoides, capacidad antioxidante DPPH y FRAP se presentan con el error estándar de la media.

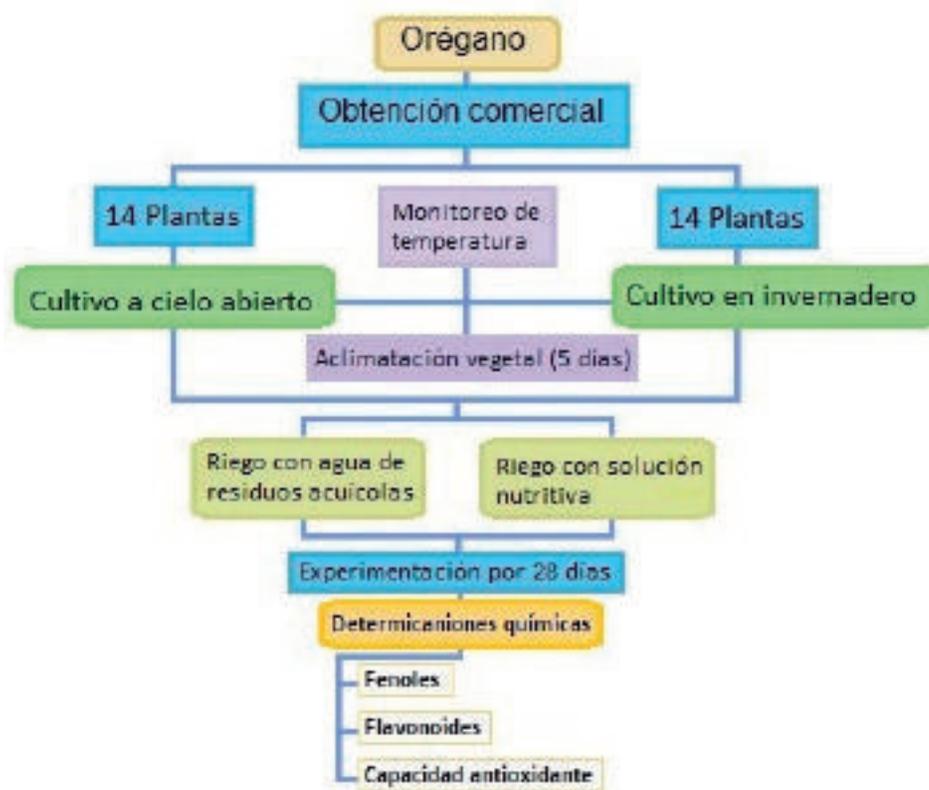


Figura 1. Diagrama experimental del cultivo de orégano en diferentes condiciones



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El monitoreo de la temperatura se muestra en la Figura 2. Los resultados mostraron una variación de la temperatura en el cultivo a cielo abierto, donde se tuvo una temperatura máxima de 45 °C y una mínima de 1.6 °C. Por otro lado, las temperaturas registradas dentro del invernadero fueron menos drásticas, teniendo una temperatura máxima de 22 °C y una mínima de 17 °C. El comportamiento de la temperatura sirve como un criterio para seleccionar el tipo de cultivo que, consideramos, aumenta el contenido de compuestos fenólicos, así como su capacidad antioxidante en cada planta. Este parámetro es una condición ambiental que puede afectar el contenido de compuestos fenólicos [20]. Además, se ha

demostrado que la temperatura ambiental incrementa el contenido de ácidos fenólicos en plantas de lechuga [21].

Los resultados del monitoreo de la humedad relativa se presentan en la Figura 3. Estos resultados se comportaron de manera similar a los de la temperatura, al tener oscilaciones del porcentaje de humedad relativa en el cultivo a cielo abierto a diferencia del cultivo en invernadero. El porcentaje de humedad relativa máximo en el cultivo de campo fue de 68.4% y mínimo de 19.4%.

Las determinaciones de la calidad de agua mostraron, como se esperaba, mayor concentración de nutrientes en el riego de agua con solución nutritiva. Teniendo una concentración de nitratos casi doble a la obtenida en el agua residual acuícola, además

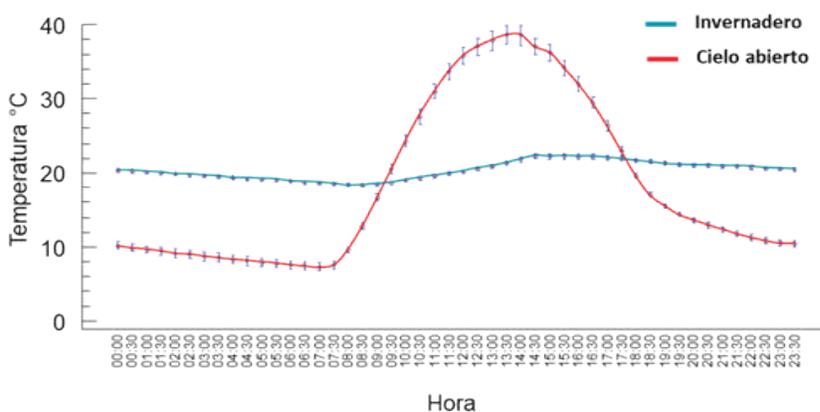


Figura 2. Temperatura ambiental registrada en los dos tipos de cultivo

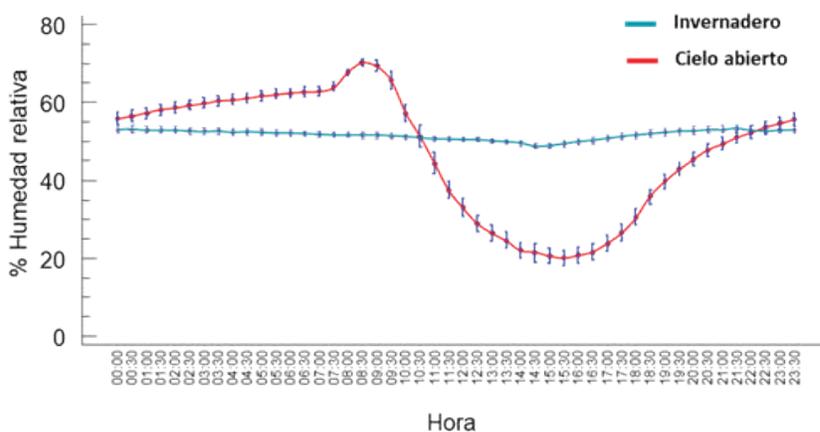


Figura 3. Porcentaje de humedad relativa registrada en los dos tipos de cultivo del orégano

la concentración de fósforo en el agua residual fue 5 veces más baja que la concentración obtenida en la solución nutritiva. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Yavuzcan *et al.* [22], donde la concentración de estos nutrientes es menor en el agua de cultivo de peces. Estos resultados se exhiben en la Tabla 1.

Tabla 1. Concentraciones de los nutrientes medidos en cada sistema de riego

Tipo de riego	Solución nutritiva	Agua residual acuícola
Nitratos mg/L	215.175	118.375
Nitritos mg/L	1.341	0.321
Fósforo mg/L	69.45	14.35

La concentración de fenoles totales máxima se obtuvo cuando las plantas fueron cultivadas en invernadero a temperatura controlada entre 20 y 17 °C, regadas con agua residual acuícola. Además, se observó una disminución de la concentración de estos compuestos respecto al tiempo de cosecha, es decir, en la segunda cosecha después de 28 días de exposición a las condiciones ambientales mencionadas y al tipo de riego. Por otra parte, la concentración de fenoles se mantiene igual para el último día de cosecha en cualquier tipo de riego aplicado. El incremento de la concentración de fenoles en las plantas de orégano fue contrario a los que se han obtenido en plantas de lechuga, es decir, el experimento realizado sobre el efecto de las condiciones ambientales sobre la concentración de compuestos fenólicos en plantas de lechuga demostró que la concentración más alta de estos compuestos fue cuando las plantas se cultivaron en condiciones de temperaturas altas a diferencia de las condiciones obtenidas en invernadero [21]. Este tipo de resultados nos sugieren que el efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos depende de la especie de planta, ya que para algunas especies resulta un efecto positivo y para otras un efecto negativo. Por otro lado, el alto contenido de compuestos

fenólicos en las plantas de orégano bajo las condiciones de riego con agua residual acuícola tiene relación con la cantidad de nutrientes que se les administró. Por otro lado, la concentración de estos compuestos se ve afectada por el sistema de riego con menor cantidad de nutrientes. Estos resultados se deben a que las plantas de orégano no requieren una alta concentración de nutrientes minerales y se pueden cultivar en suelos con alta concentración de materia orgánica [23]. La Figura 4 presenta las concentraciones de fenoles obtenidas en el orégano.

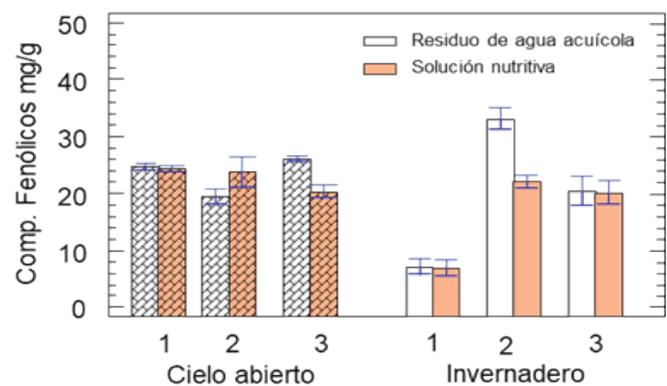


Figura 4. Concentración de fenoles totales (mg/g eq. Ác. Gálico/g) determinada en las plantas de orégano cultivado a diferentes condiciones. Los resultados se expresan en error estándar a 1, 14, 28 días de muestreo

Como se puede observar en la Figura 5, las plantas de orégano cultivadas en campo y regadas con agua residual acuícola, mostraron la concentración de flavonoides totales máxima. Estos resultados no pueden indicar que el efecto obtenido en la concentración de flavonoides se debe a los factores de cultivo como la temperatura ambiental y la humedad relativa, así como la deficiencia de nutrientes por parte del sistema de riego aplicado. De acuerdo con lo reportado por Petinatti *et al.* [13], estos factores estresantes obtenidos en el cultivo sí pueden tener un efecto sobre los compuestos evaluados.

Por otro lado, la concentración de flavonoides se ve afectada en invernadero sin importar el tipo de riego aplicado, es decir, en



la primera cosecha de muestra se observa un incremento en la concentración cuando las plantas son regadas con agua residual acuícola, a diferencia de la última cosecha, donde se obtuvo el incremento de los flavonoides en las plantas regadas con fertilizante. Estos resultados sugieren que el conjunto de factores nutricionales y ambientales como la temperatura y la humedad ambiental afectan la concentración de ciertos compuestos como los flavonoides. De acuerdo con Zhang *et al.* [24], la humedad ambiental influye en la acumulación de ciertos flavonoides como el ácido ferúlico, epicatequina e inclusive se sugiere que altos niveles de humedad ambiental pueden incrementar la concentración de pigmentos en la manzana.

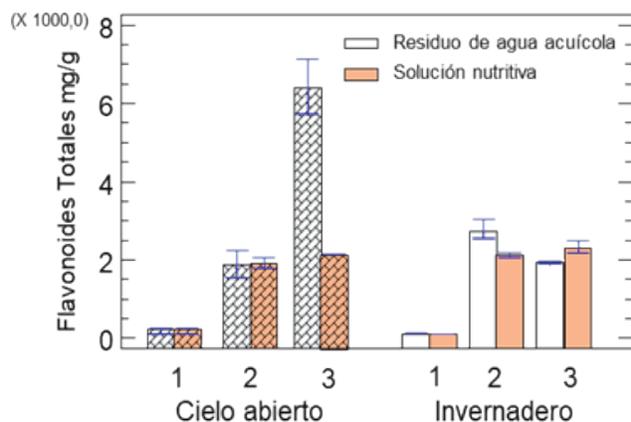


Figura 5. Concentración de flavonoides totales (mg eq. Catequina/g) determinada en las plantas de orégano cultivadas a diferentes condiciones. Los resultados se expresan en error estándar a 1, 14, 28 días de muestreo.

De acuerdo con el efecto de cada sistema de riego, los resultados mostraron un efecto positivo sobre los compuestos fenólicos y flavonoides en las plantas regadas con agua residual acuícola. Esos resultados sugieren que la baja concentración de nutrientes puede ser un factor estresante que promueva la biosíntesis de compuestos fenólicos. Además, Teles *et al.* [23] demostraron que las plantas de orégano no demandan una concentración de nutrientes, sugiriendo cultivar este tipo de plantas con altas concentraciones de materia orgánica.

Los resultados de la capacidad antioxidante por el método DPPH se presentan en la Figura 6. La capacidad antioxidante máxima se obtuvo en las plantas cultivadas en campo donde se obtuvieron temperaturas entre 45 y 11 °C. También, se observó un efecto del sistema de riego al tener la concentración más alta en las plantas regadas con agua residual acuícola. Por otra parte, se observa un comportamiento común en los dos sistemas de cultivo: la capacidad antioxidante incrementa en la primera cosecha de muestra cuando las plantas son regadas con solución nutritiva, pero para la segunda cosecha se obtiene una capacidad antioxidante elevada en las plantas regadas con agua residual acuícola. Estos resultados demuestran que el tiempo de exposición del riego es importante para determinar en qué momento se debe cosechar. Asimismo, se atribuye este efecto por los cambios de temperatura de ambos sistemas de cultivo. Además, de acuerdo con Kulisic *et al.* [25] el porcentaje de inhibición medio de la concentración de fenoles en el orégano es de 0.4, es decir, la concentración g/L para el 50% de inhibición es de 0.4. Este resultado es menor al que se obtuvo en cada uno de los tratamientos, es decir, el tipo de cultivo (humedad relativa y temperatura ambiental) y el riego afectan positivamente la capacidad antioxidante por la donación de hidrógeno (método DPPH).

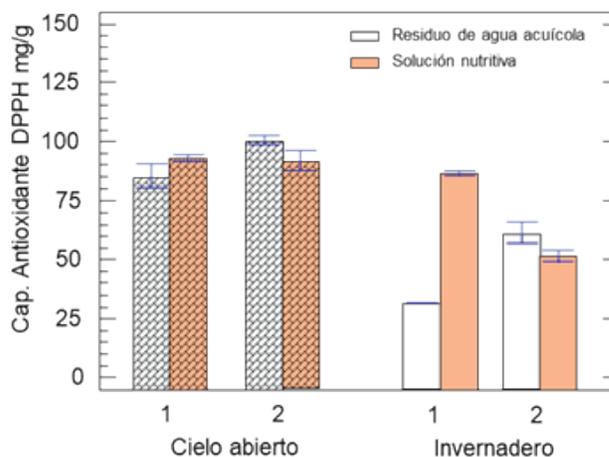


Figura 6. Capacidad antioxidante determinada por el método DPPH (mg eq. Trolox/g) en las plantas de orégano cultivada en diferentes condiciones. Los resultados se expresan en error estándar a 14, 28 días de muestreo.

La determinación de la capacidad antioxidante por el método de FRAP se realiza para evaluar el poder reductor de los compuestos fenólicos, así como de los flavonoides o cualquier compuesto que tenga esta actividad. Este método se determinó por la reducción del ion hierro (Fe^{3+} a Fe^{2+}) [26]. De acuerdo con esta determinación las plantas cultivadas en campo con oscilaciones de temperatura entre 45 y 11 °C y regadas con agua residual acuícola obtuvieron la capacidad antioxidante máxima. Sin embargo, no se observan diferencias significativas entre los dos tipos de riego. Por otro lado, se observa que la capacidad antioxidante tiende a incrementar en relación al tiempo de cultivo, es decir, entre más tiempo esté la planta sometida bajo el sistema de riego con agua residual acuícola, más puede seguir incrementando su capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante más alta para este método resultó al día 28 de la experimentación.

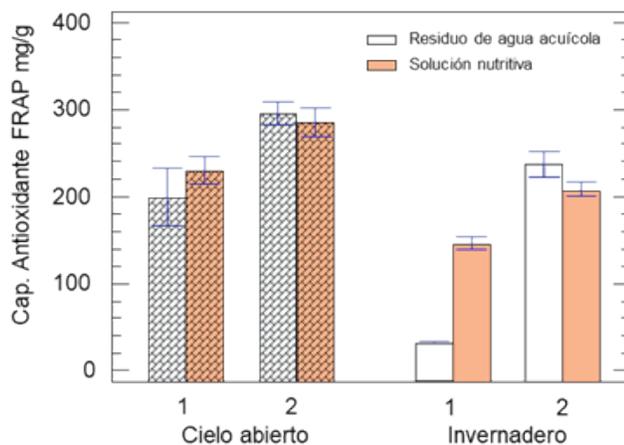


Figura 7. Capacidad antioxidante determinada por el método FRAP (mg eq. Trolox/g) en las plantas de orégano cultivadas bajo diferentes condiciones. Los resultados se expresan en error estándar a 14 y 28 días de muestreo

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, existe un efecto sobre la biosíntesis de compuestos fenólicos e incluso sobre la biosíntesis de flavonoides. Además, la capacidad antioxidante de estos compuestos depende de las condiciones ambientales a las que se

someten las plantas. Los mejores resultados de biosíntesis se presentan en las plantas cultivadas en condiciones oscilantes de temperatura y humedad relativa. El tipo de riego aplicado demostró ser un factor de impacto sobre la producción de los compuestos fenólicos. También se observó un efecto en el tiempo de exposición de las plantas a cada tipo de tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto FOMIX CONACYT 2013-2015 "sistema productivo sustentable orientado a la seguridad alimentaria de poblaciones rurales del estado de Querétaro" por el apoyo de beca para estudios de licenciatura. De la misma manera, al laboratorio de bioingeniería de la Facultad de Ingeniería, campus Amazcala, de la Universidad Autónoma de Querétaro por su apoyo académico.

REFERENCIAS

- [1] C. Huerta, "Orégano mexicano: Oro vegetal. Biodiversitas, vol. 3(15), pp. 8-13, 1997. [Online] Available: <http://www.biodiversidad.gob.mx/Biodiversitas/Articulos/biodiv15art2.pdf>
- [2] J. Rzedowski and G. R Calderón, Verbenaceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Fascículo 100. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología, A. C. Centro Regional del Bajío, 2002.
- [3] C. Huerta, "Orégano mexicano. Oro vegetal," *Revista Biodiversitas*, vol. 15(30-38), 2002.
- [4] G. E. E. Villavicencio, A. Cano Pineda and G. C. X, *Metodología para determinar las existencias de orégano (Lippia graveolens H.B.K) en rodales naturales de Parras de la Fuente, Coahuila*. Saltillo, Coahuila: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2010.
- [5] J. F. Morton, *Atlas of medicinal plants of middle America: Bahamas to Yucatán*. Springfield: Charles C. Thomas, 1981.



- [6] C. M. Compadre, R. A. Hussain, I. León and R. G. Enríquez, "Volatile Constituents of *Montanoa tomentosa* and *Lippia graveolens*," *Planta Médica*, vol. 53(05), pp. 495-496, 1987. doi: 10.1055/s-2006-962781
- [7] X. A. Domínguez, V. H. Sánchez, M. Suárez, J. H. Baldas and M. R. González, "Chemical constituents of *Lippia graveolens*". *Planta Médica*, vol. 55(208), 1989.
- [8] K. Baser, "The Turkish *origanum* species," *Oregano, the Genera Origanum and Lippia*. London and New York: Taylor and Francis, pp. 109-126, 2002.
- [9] L. Z. Lin, S. Mukhopadhyay, R. J. Robbins and J. M. Harnly, "Identification and quantification of flavonoids of Mexican oregano (*Lippia graveolens*) by LC-DAD-ESI/MS analysis," *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 20, pp. 361-369, 2007.
- [10] A. M. García-Bores, A. M. Espinoza-González, A. Reyna-Campos, S. Cruz-Toscano, J. C. Benítez-Flores, C. T. Hernández-Delgado, S. Flores-Maya, M. Urzúa-Meza, I. Peñalosa-Castro, C. L. Céspedes-Acuña, y J. G. Avila-Acevedo, "*Lippia graveolens* photochemopreventive effect against UVB radiation-induced skin carcinogenesis," *Journal of photochemistry & photobiology, B: Biology*, vol. 167, pp. 72-81, 2017.
- [11] I. Potočnjak and R. Domitrović, "Carvacrol attenuates acute kidney injury induced by cisplatin through suppression of ERK and PI3K/Akt activation," *Food and Chemical Toxicology*, vol. 98, pp. 251-261, 2016.
- [12] A. Ávalos and C. E. Pérez-Urria, "Metabolismo secundario de plantas," *Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal*, vol. 2(3), pp. 119-145, 2009.
- [13] D. Petinatti, S. Petinatti, M. Niehues y N. Pepporine, "Exogenous influences on plant secondary metabolite levels," *Animal Feed Science and Technology*, vol. 176, pp. 5-16, 2012.
- [14] H. C. Ko, J. Y. Lee, M. G. Jang, H. Song and S.-J. Kim, "Seasonal variations in the phenolic compounds and antioxidant activity of *Sasa quelpaertensis*," *Industrial Crops and Products*, vol. 122, pp. 506-512, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.031>
- [15] E. García-Pérez, F. F. Castro-Álvarez, J. A. Gutiérrez-Urbe and S. García-Lara, "Revisión de la producción, composición fitoquímica y propiedades nutraceuticas del orégano mexicano," *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, vol. 3, pp. 339-353, 2012.
- [16] CONAFOR, Fichas de información comercial de productos forestales. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, SEMARNAT. México, D.F, 2007.
- [17] X. Aguillar-Murillo, G. Valle-Meza, G. González-Rosales and M.-A. B, *Guía de cultivo de orégano*. La Paz, Baja California Sur, México, 2013.
- [18] H. A. Flores, J. A. Hernández, J. I. López, L. M. Valenzuela, M. Martínez and M. R.H., "Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) bajo cultivo en la comarca lagunera," *Revista Mexicana de Ciencia Forestal*, vol. 2, pp. 113-120, 2011.
- [19] W. Tezara, I. Coronel, A. Herrera, G. Dzib, K. Canul-Puc, L. M. Calvo-Irabién and G.-M. M., "Photosynthetic capacity and terpene production in populations of *Lippia graveolens* (Mexican oregano) growing wild and in a common garden in Yucatán peninsula," *Industrial Crops and products*, vol. 57, pp. 1-9, 2014.
- [20] J. Santos, M. Oliveira, E. Ibáñez and M. Herrero, "Phenolic profile evolution of different ready-to-eat baby leaf vegetables during storage," *Journal of Chromatography A*, vol. 1327, pp. 118-131, 2014.
- [21] O. Sytar, M. Zivcak, K. Bruckova, M. Brestic, I. Hemmerich, C. Rauh and I. Simko, "Shift in accumulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attributable to changes in ultraviolet radiation and temperature," *Scientia Horticulturae*, vol. 239, pp. 193-204, 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.020>
- [22] R. L. Yavuzcan, J. Pirhonen, E. Mente, D. Domínguez and G. Parisi, "Fish Welfare

in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces-A Review," *Water*, vol. 13(9), 2017.

[23] S. Teles, J. A. Pereira, L. Muniz, R. Malheiro, S. Santiago, A. M. Lucchese y S. F., "Organic and mineral fertilitation influence on biomass and essential oil production, composition and antioxidant activity of *Lippia origanoides* H.B.K.," *Industrial Crops and products*, vol. 59, pp. 169-176, 2014.

[24] M. Zhang, G. Zhang, Y. You, C. Yang, P. Li and F. Ma, "Effects of relative air humidity on the phenolic compound's contents and coloration in the 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh.) peel," *Scientia Horticulturae*, vol. 201, pp. 18-23, 2016. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.017>

[25] T. Kulisic, A. Radonic, V. Katalinic y M. Milos, "Use of different methods for testing antioxidative activity of oregano essential oil," *Food Chemistry*, vol. 85, pp. 633-640, 2004.

[26] E. E. Muñoz-Velázquez, K. Rivas-Días, M. G. F. Loarca-Piña, S. Mendoza-Díaz, R. Reynoso-Camacho and M. Ramos-Gómez, "Comparación del contenido fenólico, capacidad antioxidante y actividad antiinflamatoria de infusiones herbales comerciales," *Revista Nacional de Ciencias Agrícolas*, vol. 3-1, pp. 481-495, 2012.