

IDENTIFICACIÓN DE ACEITES ESENCIALES Y PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE *Mentha spicata* CULTIVADA EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS Y CAMAS CONTENIDAS



ESSENTIAL OILS IDENTIFICATION AND PRODUCTIVE PARAMETERS OF *Mentha spicata* GROWN IN AQUAPONIC SYSTEMS AND BEDS OF SEEDING

Cárdenas, Diego Fernando; Torres Mesa, Ana Constanza; Gómez Ramírez, Edwin

Diego Fernando Cárdenas
diegof.cardenas@unad.edu.co
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
Ana Constanza Torres Mesa
ana.torres@unimilitar.edu.co
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia
Edwin Gómez Ramírez
edwin.gomez@unimilitar.edu.co
Universidad de los Llanos, Colombia

Revista de Investigación Agraria y Ambiental
Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia
ISSN: 2145-6097
ISSN-e: 2145-6453
Periodicidad: Semestral
vol. 13, núm. 2, 2022
riaa@unad.edu.co

Recepción: 06 Mayo 2021
Aprobación: 21 Agosto 2021
Publicación: 17 Junio 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/1303297009/>

DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4704>

Financiamiento
Fuente: Universidad Militar Nueva Granada y su vicerrectoría de investigaciones.
Nº de contrato: Proyecto CIAS 2552
Beneficiario: IDENTIFICACIÓN DE ACEITES ESENCIALES Y PARÁMETROS PRODUCTIVOS DE *Mentha spicata* CULTIVADA EN SISTEMAS ACUAPÓNICOS Y CAMAS CONTENIDAS

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/about>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Resumen: Contextualización: Es de amplio conocimiento el hecho de que los sistemas de producción agrícola han estado en procesos de mejora para ser cada día más eficientes. Lo anterior con el objetivo de alcanzar la demanda básica de alimentos en un menor espacio de cultivo. Los sistemas acuapónicos permiten aumentar la producción de cultivos de interés comercial y nutricional en una pequeña área, haciendo uso más racional de los recursos naturales.

Vacío de conocimiento: Son pocos los estudios de aceites esenciales en plantas aromáticas, tanto a nivel nutricional como medicinal, cultivados en sistemas acuapónicos. De estos, la menta es uno de los cultivos que presenta más potencial en la medicina, por sus múltiples características bioactivas.

Propósito: Este trabajo evaluó los metabolitos secundarios presentes en aceites esenciales de plantas de menta (*Mentha spicata*) cultivadas en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*) y también sus parámetros productivos, en comparación con un cultivo en cama contenida.

Metodología: Se implementaron tres sistemas acuapónicos de 3 m² para siembra de plantas y la misma área en cultivos en cama contenida (9 m²). Mensualmente se realizaron mediciones de crecimiento en las plantas y los peces. Semanalmente se midieron los parámetros de calidad de agua: NAT, nitrito, nitrato, fosfatos y pH. Al final del cultivo se realizó la extracción de aceites esenciales por el método de arrastre por vapor. Luego se obtuvieron las matrices y se caracterizaron bajo un modelo de CG-MS, comparando el área y tiempo de retención de los compuestos hallados en ambos cultivos.

Resultados y conclusiones: Las muestras extraídas de los sistemas acuapónicos presentaron una mayor diversidad de compuestos en comparación con las camas contenidas. El compuesto más abundante en ambos sistemas fue la *menta-Furanona*, siendo mayor en los sistemas acuapónicos. La menta desarrolló un mayor porcentaje de crecimiento en los sistemas acuapónicos, presentando una mayor biomasa, número de

CÓMO CITAR: Cárdenas, D., Torres, A. y Gómez, E. (2022). Identificación de aceites esenciales y parámetros productivos de *Mentha spicata* cultivada en sistemas acuapónicos y camas contenidas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 149 – 163. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4704>

tallos y parámetros productivos. Este trabajo sugiere que las plantas cultivadas bajo sistemas acuapónicos presentan una mayor diversidad de compuestos al ser evaluadas bajo diferentes enfoques, en contraste con lo observado en las plantas de un cultivo tradicional en cama contenida.

Palabras clave: producción limpia, metabolitos secundarios, menta, sistemas de recirculación, CG-MS.

Abstract: Contextualization: It is widely known that agricultural production systems have been in processes of improvement to become more efficient every day. The objective is to achieve the basic food demand in a small space. The aquaponics systems allow to increase the production of crops of commercial and nutritional interest in a minor area, with a rational use of natural resources.

Knowledge gap: There are few studies about essential oils in aromatic plants, focused on nutritionally and medicinally topics, which have been cultivated in aquaponic systems. Mint is one of the crops with greatest potential in alternative medicine, due to its multiple bioactive characteristics.

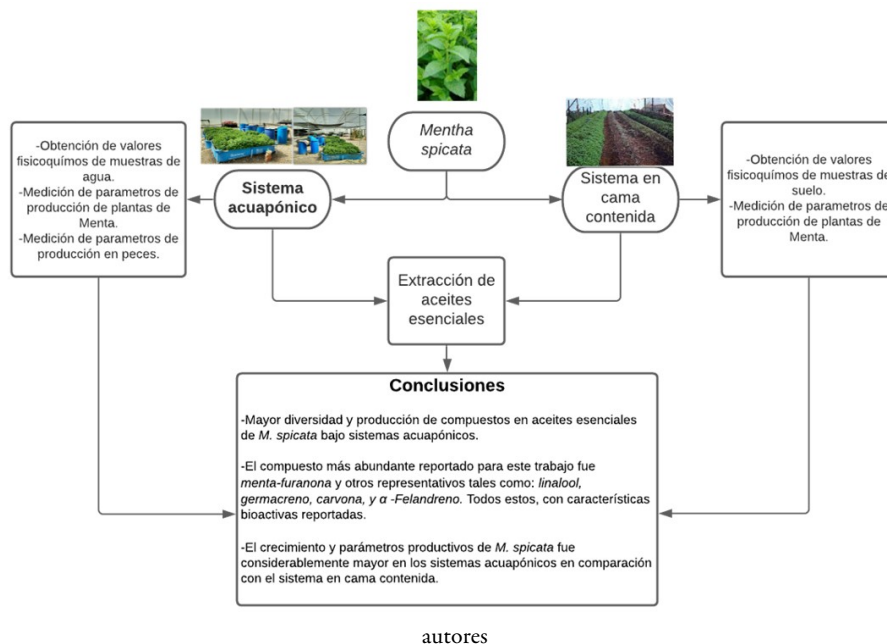
Purpose: This research evaluated the secondary metabolites present in essential oils of mint plants (*M. spicata*) from an aquaponic system with red tilapia (*Oreochromis sp.*) and its productive parameters, compared with a harvest in a bed of seeding.

Methodology: Three aquaponics systems (3 m²) were employed for planting plants, and the same area in a bed of seeding (9 m²). Plant and fish growth measurements were conducted monthly. The water quality parameters were measured weekly: NAT, nitrite, nitrate, phosphates, and pH. The extraction of essential oils was carried out by the steam drag method. The matrices obtained were characterized under a GC-MS model, comparing the area and retention time of the compounds found in both culture systems.

Results and conclusions: Samples extracted from aquaponic systems exhibited a higher diversity of compounds compared to the bed of seeding. The most abundant compound in both systems was mint-Furanone, which was higher in the aquaponic systems. The mint grew considerably better in aquaponic systems, showing higher biomass, number of stems and productive parameters. This work has demonstrated that aquaponic systems have a greater diversity of compounds and better performance than traditional culture in bed of seeding.

Keywords: Clean production, secondary metabolites, peppermint, recirculation systems, CG-MS.

RESUMEN GRÁFICO



1. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de las plantas que generan algún interés biológico, como la posibilidad de extracción de aceites esenciales, es una de las mayores aplicaciones en la fitoquímica. En la mayoría de los casos, estos aceites serán matrices ricas en compuestos, con alguna actividad biológica (Ambrosio et al., 2017). Estos aceites esenciales son compuestos volátiles, naturales y complejos; que presentan un fuerte olor y hacen parte constitutiva de la mayoría de las plantas aromáticas, siendo productos de su metabolismo secundario (Chouhan et al., 2017). Sus actividades biológicas pueden llegar a ser de tipo antioxidante, antiangiogénico y antidiabético, entre otras (Tahir et al., 2016).

Los aceites esenciales pueden presentar cambios en cantidad y composición, debido a factores extrínsecos e intrínsecos como: el clima; componentes del sustrato; el órgano, etapa y edad de la planta donde se toma la muestra (Masotti, et al., 2003; Angioni et al., 2006). La composición y estimación de la cantidad de dichos aceites determina la actividad de estos (Croteau et al., 2000). Se estima que el carvacrol en un 30 % y el timol 27 %, son los principales componentes del aceite del orégano (*Origanum compactum*). En estudios exploratorios de fitoconstituyentes en hinojo (*Anethum graveolens*), el limoneno está presente en un 31 %, carvona 58 % En el aceite esencial de *Mentha piperita* (*Mentha X Piperita*), el mentol está presente en un 59 % y la mentona en un 19 % (Betts, 2001; Bowles, 2001; Pichersky et al., 2006).

Por otra parte, el desarrollo de cultivos en sistemas acuapónicos comprende un amplio grupo de especies vegetales de interés comercial y/o medicinal (Somerville et al., 2016). Rakocy (2012) manifiesta que las plantas aromáticas son la mejor opción en acuaponía, ya que generan el nivel más alto de ingresos por unidad de área y tiempo de cultivo. Estos sistemas generan dos productos, uno ligado a la acuicultura (peces, moluscos y crustáceos) y otro enfocado a la producción de plantas de interés comercial. Dentro de las plantas de interés económico se encuentran las plantas aromáticas (Konig et al., 2018).

Los sistemas acuapónicos están diseñados para funcionar conceptualmente como un sistema eficiente de reciclaje ecológico (Eck et al., 2019; Greenfeld et al., 2019). El funcionamiento de estos sistemas se basa en el uso de los productos de desecho generados por los organismos acuáticos y residuos de alimentos, los cuales son transformados por la actividad microbiana en nutrientes para las plantas, evitando la descarga

y contaminación de efluentes hídricos (Ramírez et al., 2009). Debido al reciclaje de estos nutrientes, se ha encontrado que los sistemas acuapónicos hacen uso racional del agua entre un 0.3 y 5.0 % de la totalidad del sistema, sin necesidad de hacer recambios todos los días (Maucieri et al., 2018). Dentro de las diferentes ventajas de los sistemas acuapónicos, están que estos requieren un bajo uso de fertilizantes comparados con la agricultura convencional y sistemas hidropónicos (Pérez-Urrestarazu et al., 2019). Estos pueden instalarse casi en cualquier sitio: zonas urbanas o rurales, y a pequeña, mediana o gran escala (Junge et al., 2017).

Los sistemas acuapónicos con plantas aromáticas se han centrado en la producción en fresco de material vegetal, siendo casi inexploradas las características y/o composición de matrices complejas de compuestos, como lo son los aceites esenciales (Wilson et al., 2017). Con la intención de explorar estas características, este estudio evaluó los metabolitos secundarios presentes en aceites esenciales de plantas de menta (*M. spicata*) y además sus parámetros productivos, tanto de un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis* sp.) como de uno en cama contenida, determinando sus parámetros de producción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en invernaderos de acuaponía y horticultura de la Universidad Militar Nueva Granada, sede Campus, ubicada en el municipio de Cajicá, con latitud 4°56'34.7" y longitud 74°00'55.9", a una altura de 2559 m. s. n. m. y una temperatura media de 14°C.

Diseño sistemas Acuapónicos

Se trabajó con tres sistemas acuapónicos de las mismas características estructurales. Estos constaban de un tanque de peces de 1 m³ y dos recipientes cilíndricos de 0,2 m³, los cuales funcionaban como filtro mecánico (clarificador) y un biofiltro. En el biofiltro se utilizó como sustrato anillos plásticos de tubería Conduit, con un volumen aproximado de 5 811.6 mm³. El sistema hidropónico fue de tipo de cama flotante (Raft), el cual estaba compuesto por una piscina de 1m³ de volumen y 3 m² de área para siembra de plantas. Se utilizó como sustrato una espuma de polietileno expandido de 1.5 cm de espesor (jumbolon) y las plantas se sembraron a una densidad de 25 plantas m² (Somerville et al., 2016). Para la recirculación se utilizó una bomba de agua sumergible de 1 400 L/h (Resun#). La aireación para todos los sistemas acuapónicos se realizó con una turbina de aire de 370 W (Resun#), con una potencia de ½ hp. En cada sistema acuapónico se instalaron ocho piedras difusoras en el tanque de peces y cuatro en el biofiltro (Figura 1).



FIGURA 1

Sistemas acuapónicos para menta (*M. spicata*) con tilapia roja (*Oreochromis* sp.).
autores

Sistema de cama contenida

Para la siembra en cama contenida se trabajó en camas de 9.00 m de largo x 1.00 m de ancho donde estaban dispuestas cuatro hileras de plantas. La cama se dividió en tres parcelas de 3 m², obteniendo tres repeticiones con la misma área que contaban los sistemas acuapónicos. El riego fue proporcionado por un sistema de goteo

donde estaban dispuestas cuatro líneas de riego. Antes de la siembra se realizó un análisis de suelo con el fin de determinar la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo del cultivo de menta (Anexo 1). Las plantas finalmente se sembraron, a una densidad de 25 plantas/m², para un total de 75 plantas por parcela de 3 m², teniendo en cuenta lo sugerido anteriormente para los sistemas bajo hidroponía.

Parámetros de crecimiento de plantas y peces

Las plántulas de menta (*M. spicata*) se adquirieron en el Centro de Biosistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Colombia). Estas plantas presentaban un peso fresco de $4,45 \pm 1,65$ g, una longitud total de $3,11 \pm 0,46$ cm y un número de tallos $1,5 \pm 0,50$. Se evaluó el crecimiento y los parámetros productivos de plantas y peces a partir de lo propuesto por Ramírez et al. (2011): Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{día}^{-1} = (1/AT) * (PS2 - PS1 / T2 - T1)$ y la Tasa de Crecimiento Absoluto (TCA) $\text{g} \cdot \text{día}^{-1} = (PS2 - PS1) / (T2 - T1)$. Al finalizar el estudio se tomó el 10 % de las plantas de ambos sistemas y se registró el peso seco, para lo cual fueron secadas en un horno Memmert# a 25 °C por ocho días.

Treinta y seis peces se adquirieron en empresas piscícolas especializadas y se mantuvieron en sistemas acuapónicos en el invernadero de Ictiología de la Universidad Militar Nueva Granada. Las tilapias rojas (*Oreochromis sp.*) se alimentaron tres veces al día (8:00, 12:00 y 16:00 h) con alimento comercial al 32 % de proteína cruda al 1.5 % de su biomasa. Se les registró el peso, longitud total y estándar, tanto al inicio como al final del experimento (Tabla 3). A partir de estos datos se estimaron los parámetros productivos: Ganancia de Peso (GP) = peso final – peso inicial y Supervivencia (S) = (número de peces final/número de peces inicial) * 100 (Ramírez et al., 2011 y Riaño et al., 2015).

Extracción de aceites esenciales

Los aceites esenciales fueron obtenidos bajo la técnica de destilación con arrastre por vapor. Una cantidad de 30 g de material vegetal fue dispuesta en un balón aforado y luego fue sometida a una corriente de vapor de agua sobrecalentada (200 mL). Se estableció un tiempo de destilación de una hora a partir de la primera gota del destilado y la matriz fue recolectada y depurada en un volumen de 30 mL de diclorometano, esto se realizó tres veces para eliminar el exceso de agua. Para lo anterior se realizaron tres repeticiones en cada uno de los sistemas (sistemas acuapónicos y camas contenidas) (Boutekedjiret et al., 2003)

Análisis cromatográfico

Los aceites esenciales obtenidos se analizaron con un cromatógrafo de gases Thermo Scientific Trace 1300, acoplado a un detector de espectrometría de masas (MSD) Thermo Scientific ISQ LT con analizador de cuadrupolo. Se inyectó 1 µL en forma de relación Split 30. Como rampa de temperatura se empezó con 40 °C y se mantuvo durante 5 minutos, luego se elevó la temperatura a 290 °C y se mantuvo durante 15 minutos. La forma de ionización de la muestra fue mediante impacto electrónico, siendo el gas de arrastre el helio grado 5. Todas las muestras fueron preparadas a una concentración de 1 mg/mL en hexano grado GC/MS (Plazas-Jiménez et al., 2016).

Análisis estadístico

Los resultados son presentados como el promedio \pm de la desviación estándar. A todas las variables evaluadas se les validaron los supuestos de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) y que presentaran una distribución normal (prueba de Shapiro Wilk). Después se realizó una prueba de T-Student para comparar si había diferencias entre los sistemas acuapónicos y los de cama contenida. Todos los análisis estadísticos se desarrollaron usando el software R 3.2.3 de libre distribución en internet.

Parámetros de calidad de agua y nutrientes

Semanalmente se registraron los valores de pH con una sonda Hanna# HI 9829. Los niveles de nitrógeno amoniacal total (NAT), nitrito (NO₂-N), nitrato (NO₃-N) y fosfato (PO₄-P) se registraron con kits de alta sensibilidad Merck® y se analizaron los valores de absorbancia en un equipo Spectroquant Multy®. Para mantener los parámetros de calidad de agua y nutrientes en niveles adecuados se realizaron las siguientes enmiendas semanales en los sistemas acuapónicos: 20 g de bicarbonato de sodio y 45 g de quelato de hierro en forma de DTPA (Rakocy et al., 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 1
Parámetros productivos de menta (*M. spicata*)

	Sistema acuapónico		Cama contenida	
	Fresco	Seco	Fresco	Seco
Peso final/planta (g)	328,55 ± 96,19a	60,58 ± 29,78a	102,59 ± 45,59b	16,75 ± 8,53b
Biomasa (kg)	14,42 ± 1,06a	2,85 ± 0,22a	4,62 ± 0,33b	0,74 ± 0,03b
Porcentaje de agua (%)	82,38 ± 3,89a		84,32 ± 3,34a	
TCC/ sistema	0,33 ± 0,067a		0,09 ± 0,02b	
TCA/sistema	1,00 ± 0,20a		0,27 ± 0,06b	
Altura final	40,17±5,32a		37,33±6,27a	
Número de tallos	52,05±10,05		24,77±7,05	
Rendimiento Kg/m ²	8,21a		1,90b	

autores

TCC: tasa de crecimiento del cultivo; TAC: tasa de crecimiento absoluto. Cada valor representa la media aritmética ± y la desviación estándar. Letras diferentes representan diferencias significativas ($P < 0.05$).

En la **tabla 1** se observa que tanto las variables de crecimiento como los parámetros de rendimiento bajo sistemas acuapónicos fueron mejores que los del cultivo en cama contenida; especialmente en términos de peso final, biomasa, TCC (tasa de crecimiento en el cultivo), TCA (tasa de crecimiento absoluto), altura final y número de tallos. Lo anterior demuestra que los sistemas acuapónicos son más productivos por unidad de área en comparación con un sistema de agricultura tradicional (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

Este trabajo presentó rendimientos incluso mejores que otros sistemas acuapónicos, alcanzando 8.21 Kg/m². Al comparar los rendimientos con los obtenidos por Espinosa-Moya et al., (2018), se observa una notable diferencia de 0.83 ± 0.072 Kg/m² para *M. spicata* y 5.98 ± 0.32 Kg/m² para otra variedad de menta *M. piperita*. Es importante mencionar que Espinosa-Moya et al. (2018) empezaron con plantas de 90 días de emergencia y realizaron 51 días de experimentación, mientras que en el presente trabajo las plántulas tenían 15 días y se finalizó con alrededor de 84 días de experimentación. Los datos de altura final de las plantas y número de tallos en ambos sistemas parecen indicar que la gran diferencia en rendimiento es atribuida al mayor número de tallos generados en los sistemas acuapónicos (Tabla 1). Lo anterior reafirma los buenos resultados obtenidos en esta investigación con un sistema acuapónico sencillo, económico y funcional.

Los valores en TCC y TCA fueron estadísticamente mejores en los sistemas acuapónicos, como ya se había mencionado en comparación con los de cama contenida (Tabla 1). Sin embargo, se tiene la premisa de que, en estudios anteriores, la TCA fue menor a la obtenida por Espinosa-Moya et al., (2018). Esto posiblemente se deba a que se trabajó con plantas de mayor tamaño y edad, por lo que aumentaban más gramos al día.

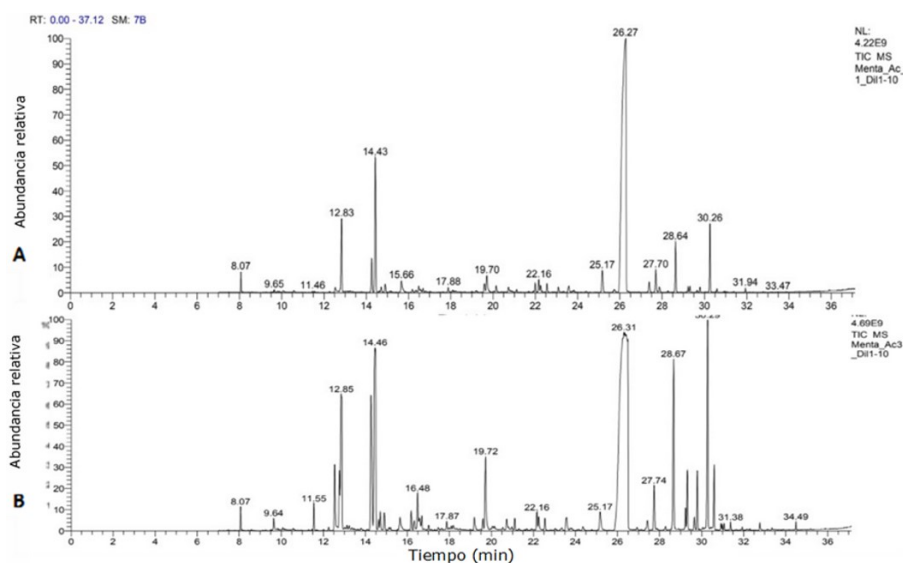


FIGURA 2

Perfiles cromatográficos representativos bajo GC-MS de muestras de aceites esenciales de *M. spicata*. (A) Perfil cromatográfico obtenido de muestras en sistema de cama contenida y (B) Perfil cromatográfico obtenido de muestras en sistema acuapónico.

autores

En la **figura 2** se puede observar que el sistema acuapónico presenta una mayor diversidad de compuestos con una mayor abundancia, todo lo anterior comparado con el sistema en cama contenida. Esto se evidencia por la cantidad de “picos” en los cromatogramas y la abundancia relativa que se observa. Lo anteriormente mencionado apoya al hecho de contar con matrices ricas en compuestos con propiedades bioactivas, tales como: antiinflamatorias (Andrade & De Sousa, 2013), antioxidantes (Singh et al., 2015), antimicrobianas (Singh et al., 2015), entre otras características sin estudiar. Cabe mencionar que la producción de estas plantas es bajo sistemas de producción limpia, libre de pesticidas, y lo apoya el hecho de tener matrices de compuestos libres de sustancias tóxicas o que a su vez estén acompañadas de ellas (Goddek et al., 2015).

Como se puede observar en la **tabla 2**, el compuesto menta-furanona, con valor en porcentaje de 52.11 ± 10.04 % en sistemas acuapónicos, fue el compuesto mayoritario dentro de todas las muestras. Según lo reportado por Ștefanidesová et al. (2019) este compuesto resulta ser el más abundante para esta especie, aunque en valores máximos hasta del 33 %, lo que evidencia que los sistemas acuapónicos para la producción de este metabolito son óptimos. Este compuesto presenta actividad, reportada en estudios, antioxidante (Surendran et al., 2017; Hameed et al., 2015) y antimicrobiana (Aprotosoai et al., 2018; He et al., 2016). Teniendo en cuenta lo anterior, esto se sumaría al hecho de tener matrices no solo ricas en compuestos, sino que, a su vez, tengan una característica bioactiva.

Compuestos como *linalool*, *limoneno* y 1,8 cineol (*eucaliptol*) se identificaron en mayor cantidad en los sistemas acuapónicos. Estos isoprenoides de diez carbonos son derivados de la vía del mevalonato en plantas, siendo esta una de las principales vías para la producción en masa de compuestos de interés. Los compuestos anteriormente mencionados, según estudios realizados con anterioridad, son capaces de inhibir el crecimiento de células tumorales, tanto “*in vitro*” como “*in vivo*”, de las líneas tumorales HepG2 y A549 (Rodenak Kladniew et al., 2012).

En términos generales, en un cultivo convencional de *M. spicata* los principales compuestos encontrados son: carvona (60,72-68,09 %), limoneno (14,23 - 16,41 %), α - pineno (0,12 -3,14%), #-mirceno (0,35 - 2,33 %), 1,8-cineol (1,69 - 2,73 %) cis-di -hidrocarvona (1,82-2,31 %), trans -craveol (1,09 - 1,19 %), β -bourboneno (2,44 - 3,17 %) y β -cariofileno (1,42 - 1,82 %) (Meloni et al, 2019). La mayoría de estos compuestos presentan propiedades antioxidantes cuando alcanzan valores de IC₅₀ entre 7,5-12,06 μ g/mL

(método DPPH) y de 26,94-38,14 µg/mL (método β -caroteno/ácido linoleico) (Meloni et al., 2019), esto suma importancia en el sector nutraceutico y/o estético. A partir de los resultados obtenidos se puede decir que ambos sistemas de producción exhibieron estos compuestos, no obstante, tendieron a ser más abundantes en la matriz obtenida de las plantas de menta acuapónicas, recordando de nuevo el perfil cromatográfico obtenido.

TABLA 2
Compuestos obtenidos en la caracterización de los aceites esenciales de *M. spicata*

Pico	Tr (min)	Compuesto	Tipo	Porcentaje área (%)	
				Sistema acuapónico	Cama contenida
1	10.07	<i>p-Xileno</i>	Hidrocarburo aromático	np	0.08 ± 0.04
2	12.54	α -Felandreno	Monoterpeno	4.52	0.90 ± 0.25
3	12.83	α -Pineno	Terpeno	8.77 ± 3.81	10.89 ± 2.77
4	14.08	<i>Cimeno</i>	Monoterpeno	0.15	np
5	14.43	<i>Eucaliptol</i>	Monoterpeno	12.18 ± 2.18	20.16 ± 2.71
6	14.63	<i>3-careno</i>	Monoterpeno	np	0.34 ± 0.14
7	15.2	<i>Terpineno</i>	Monoterpeno	0.11	np
8	15.69	<i>Terpineol</i>	Monoterpeno	0.67 ± 0.44	0.52 ± 0.14
9	16.18	<i>Limoneno</i>	Monoterpeno	0.34 ± 0.15	0.31 ± 0.12
10	16.48	α -Linaliol	Terpeno	1.54 ± 0.58	1.43 ± 0.58
11	17.87	<i>Ciclohexanona, 2-(1-metiletilideno)</i>	Terpeno	0.64 ± 0.08	0.35 ± 0.12
12	19.2	α -terpineol	Terpeno	0.26 ± 0.21	np
13	19.72	<i>p-Cimen-8-ol</i>	Benceno	2.08 ± 0.55	0.69 ± 0.40
14	20.15	<i>(1R)(-)-Mirtenal</i>	Terpeno	0.39 ± 0.04	0.29 ± 0.18
15	20.73	<i>Fenol, o-(2-metilalil)-</i>	Fenol	0.72	0.56 ± 0.20
16	22	<i>Ascaradiol</i>	Monoterpeno	np	2.71 ± 2.0
17	22.55	<i>Carvona</i>	Monoterpeno	0.49	0.24
18	23.15	<i>Timol</i>	Monoterpeno	0	0.25 ± 0.05
19	23.82	<i>p-Mentan-3-one, 1,2-epoxi-</i>	Monoterpeno	0.53	0.47 ± 0.47
20	25.15	<i>Crisantenona</i>	Monoterpeno	0.83	0.60 ± 0.40
21	25.17	<i>2-Pinen-4-ona</i>	Monoterpeno	1.02 ± 0.73	np
22	25.66	<i>Eugenol</i>	Monoterpeno	0.39 ± 0.13	0.31 ± 0.10
23	26.18	<i>Menta-furanona</i>	Butenolide	52.11 ± 10.04	41.0 ± 4.52
24	26.88	<i>Copaena</i>	Sesquiterpeno	0.08	np
25	28.63	<i>Cariofileno</i>	Sesquiterpeno	3.28 ± 1.64	4.30 ± 0.82
26	30.26	<i>Germacrene</i>	Sesquiterpeno	6.53 ± 3.11	5.29 ± 1.27
27	31.38	α -Muroleno	Sesquiterpeno	0.08 ± 0.05	0.09 ± 0.01
28	32.77	<i>Cubadol</i>	Sesquiterpeno	0.16	0.10 ± 0.03

autores

TR: tiempo de retención en minutos. np: no presente. Que haya valores que no presentan promedio \pm de desviación estándar se debe a que solo una repetición exhibió el compuesto.

Por otra parte, teniendo en cuenta la facilidad que tienen los sistemas acuapónicos de producir compuestos nitrogenados (NAT), debido a la excreción de los peces, y que luego por procesos de nitrificación del biofiltro se obtiene NO₂ y NO₃, se puede tener una integración de este nitrógeno dentro de la presencia de metabolitos secundarios producidos (S. Wongkiew et al., 2017). Estudios como los de Chrysargyris et al. (2017) muestran que los niveles de N influyen no solo en el crecimiento de las plantas sino también en el contenido de clorofila, en el que el rendimiento del aceite esencial de *M. spicata* aumentó con la aplicación de 225 mg/L de N. Los principales componentes del aceite esencial fueron *carvona*, *limoneno*, *1,8-cineol*, *germacreno D* y β -*pineno*. Esta alta producción de N reduce el contenido de micronutrientes de las hojas (ej. Mn), disminuyendo el contenido de carvonas. En este sentido, los sistemas acuapónicos, al tener una

alta producción de estos compuestos y de forma continua, podrían mejorar la producción en diversidad y abundancia de fitoconstituyentes en aceites esenciales.

Las carvonas son ampliamente utilizadas para tratar insectos plaga (como *Sitophilus zeamais* y *Tribolium castaneum*) en diferentes especies de gramíneas, mostrando valores de toxicidad letal (LT 50 = 7,3 h) (Peixoto et al., 2015). Lo anterior podría explicar el hecho de que, en los sistemas acuapónicos, la presencia de insectos plaga que pudieran afectar la producción se vio considerablemente disminuida, teniendo un efecto en la integridad del material al final de la toma de muestras. Sumado a lo anterior, las carvonas han mostrado una fuerte actividad inhibidora contra las principales enzimas asociadas con la enfermedad de Alzheimer (EA) y las enfermedades del sobrepeso (colinesterasa y lipasa pancreática porcina) (Ali-Shtayeh et al., 2019).

TABLA 3
Parámetros de crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en sistemas acuapónicos.

VARIABLE	INICIAL	FINAL
Peso individuo (g)	460,22 ± 85,17	566,39 ± 112,07
LE (cm)	22,85 ± 1,62	23,64±0,13
LT (cm)	27,68 ± 1,93	27,81±0,28
Biomasa (g)	5522,67 ± 280,10	6852,67 ± 612,07
GP individuo (g)		106,17
S (%)		86,10 ± 4,80

autores

LE: longitud estándar; LT: longitud total; GP: ganancia de peso; S: sobrevivencia. Cada valor representa el promedio ± de la desviación estándar.

En la **tabla 3** se observan los parámetros de crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) en sistemas acuapónicos. Las variables de crecimiento, la GP y el aumento de biomasa no fueron tan altos, debido a que se trataba de peces que estaban cerca de la talla y peso comercial. Pese a esto, los peces presentaron un crecimiento similar al reportado por Espejo y Torres (2001) para tilapias de estos tamaños y tiempos. Aunque si se compara, la biomasa final por sistema acuapónico es más alta a la presentada en cultivos tradicionales de estanque en tierra, en los cuales se maneja entre 1, 3 y máximo 5 peces por m² (1.5 m³), es decir biomasa que irían desde los 500 g a los 2,500 g (Espejo y Torres, 2001); mientras que los sistemas acuapónicos evaluados alcanzaron una biomasa de 6 852,67 g/m³, casi tres veces mayor a la presentada en estanques en tierra, con un gasto de agua 95 % menor y sin generar contaminantes a los efluentes.

Además, al revisar los parámetros de calidad de agua se observa que estos estuvieron en las condiciones apropiadas, lo que permitió un adecuado crecimiento de los peces y también proporcionó los principales nutrientes para el adecuado crecimiento de las plantas (Yildiz et al., 2017; Dolezelova et al., 2011; Yanbo et al., 2006). Cabe mencionar que aunque se están nombrando estos valores de crecimiento en peces, el objetivo principal del estudio era tener en cuenta lo obtenido en los cultivos y sus características intrínsecas.

TABLA 4
Parámetros de calidad de agua y nutrientes en los sistemas acuapónicos.

Parámetro	Sistemas Acuapónicos		
	1	2	3
NAT (mg/L)	1,19± 2,21	1,01±1,13	0,4±0,22
Nitrito (mg/L)	0,55±0,46	0,63±0,42	0,34±0,56
Nitrato (mg/L)	5,01±6,39	5,84±7,63	6,67±6,84
Fosfato (mg/L)	11,32±8,28	9,98±8,31	10,81±8,80
pH	5,92±0,77	5,42±0,87	5,87±0,57

autores

Cada valor representa el promedio ± la desviación estándar.

En cuanto a los productos nitrogenados, se puede decir que estos estuvieron dentro de los rangos adecuados para el crecimiento de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) e indican un buen funcionamiento del biofiltro. El NAT, aunque estuvo levemente elevado, no fue un parámetro limitante para el crecimiento de los peces, ya que este se encuentra en los medios acuáticos bajo dos formas químicas el NH_3 y el NH_4^+ , siendo más tóxica la primera que la segunda (Riaño et al., 2015). No obstante, para que el NH_3 sea predominante requiere de pH básicos, lo cual no ocurrió en nuestra investigación (Tabla 4). El nitrito, que en bajas concentraciones suele ser más tóxico que el NAT, nunca estuvo en valores que pudiera afectar el adecuado transporte de oxígeno de la sangre a los tejidos de los peces (Dos Santos, 2018).

El nitrato estuvo bajo para los niveles recomendados en sistemas acuapónicos (Rakocy, 2012). Sin embargo, se pudo evidenciar que no fue un factor limitante al observar el crecimiento y parámetros productivos de la menta en estos sistemas (Tabla 1). Estos valores pueden deberse a dos razones: la primera se debe a que en los sistemas acuapónicos se genera una producción constante de nutrientes, en este caso el nitrato, por los procesos de nitrificación que ocurren en el biofiltro (Torres, 2017). La segunda razón puede ser atribuida a una continua absorción de nutrientes por parte de las plantas (Heise et al., 2021). Adicionalmente, Gouran-Orimi et al. (2018) reportan que la baja concentración de un anión puede promover la entrada de otro, al disminuir la competencia por los canales iónicos en la rizosfera de las plantas. En este caso puede ser que la baja concentración del anión nitrato haya favorecido el ingreso del fosfato y el potasio, por lo que no se observaron estas deficiencias en las plantas de menta (Figura 1)(Oelkers & Valsami., 2008).

El pH en los sistemas acuapónicos es un asunto controversial, pues algunos autores recomiendan pH 7 (Rakocy, 2012) mientras que otros pH entre 6.5 a 7.5 (Resh, 2012), aduciendo que en esos pH se obtiene una buena nitrificación y es adecuada para la salud y bienestar de los peces. No obstante, estos valores de pH pueden llegar a ser inapropiados para el crecimiento de las plantas, más si se compara con los valores recomendados en técnicas como la hidroponía (Kim et al., 2018; Quagrainie et al., 2018). El pH mantenido en esta investigación osciló entre 5.5 – 6.5, y, aunque puede ser bajo, puede explicar el buen crecimiento presentado en las plantas de menta, dado que en estos pH las plantas asimilan la mayor cantidad de nutrientes (Torres, 2017; Kim et al., 2018).

La diferenciación en la producción de metabolitos secundarios por parte de plantas está mediada, de forma positiva o negativa, por diferentes factores, de los cuales se podrían tomar tan solo tres como relevantes. El primero es la especie de la planta tomada, el segundo es el órgano de esta (Chen et al., 2010), y el tercero, la nutrición dada a las plantas, lo cual efectúa un cambio diferencial en su expresión y producción, que para nuestro estudio estaría totalmente ligado a los nutrientes dispuestos en sistemas acuapónicos. (Nurzyńska-Wierdak, 2013).

4. CONCLUSIONES

El crecimiento y los parámetros productivos de *M. spicata* fueron considerablemente mayores en los sistemas acuapónicos en comparación con el sistema en cama contenida. Lo que demuestra que un sistema funcional, económico y versátil como este puede instalarse como método de agricultura urbana.

Lo que sugiere este estudio es que los aceites esenciales extraídos de plantas de *M. spicata* en sistemas acuapónicos presentan una diversidad de compuestos mayor a la observada en sistemas en cama contenida. Lo anterior apoya el hecho de que, en los perfiles cromatográficos obtenidos, el número de picos y la abundancia relativa expresada es mayor. Se sugiere que se podría aumentar el número de repeticiones y así garantizar la desviación estándar obtenida. Al tener este tipo de matrices, ricas en compuestos, los aceites obtenidos bajo sistemas acuapónicos tendrán una gran relevancia, tanto en términos comerciales como medicinales, teniendo así un valor agregado en el mercado.

El estudio encontró que, de los compuestos encontrados en plantas cultivadas en sistemas acuapónicos, tanto por su abundancia como por su importancia destacan: la *menta-furanona*, el *linalool*, el *germacreno*, la *carvona*, y el α -*Felandreno*. Cada uno de ellos con características bioactivas (antioxidante, antimicrobial, antitumoral, entre otras). Del grupo anteriormente mencionado, la menta furanona resultó ser el compuesto de mayor abundancia de (52.11 ± 10.04 %) dentro de las muestras de sistemas acuapónicos; comparado con lo visto en cama contenida, en el que tuvo una abundancia de 41.0 ± 4.52 %. Por otra parte, los parámetros de calidad de agua en los sistemas acuapónicos estuvieron entre los rangos adecuados para un buen crecimiento de *M. spicata* y tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Todo lo anteriormente mencionado se suma a las características notablemente buenas en la implementación de estos sistemas.

MATERIALES SUPLEMENTARIOS

Anexo (pdf)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Militar Nueva Granada y su vicerrectoría de investigaciones por su apoyo en el proyecto CIAS 2552. Al laboratorio de Química bio-orgánica de la Universidad Militar Nueva Granada y a Sergio David Ruiz Becerra.

LITERATURA CITADA

- Ali-Shtayeh, M. S., Jamous, R. M., Abu-Zaitoun, S. Y., Khasati, A. I. & Kalbounch, S. R. (2019). Biological Properties and Bioactive Components of *Mentha spicata* L. Essential Oil: Focus on Potential Benefits in the Treatment of Obesity, Alzheimer's Disease, Dermatophytosis, and Drug-Resistant Infections. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/3834265>
- Ambrosio, C. M. S., De Alencar, S. M., De Sousa, R. L. M., Moreno, A. M. & Da Gloria, E. M. (2017). Antimicrobial activity of several essential oils on pathogenic and beneficial bacteria. *Industrial Crops and Products*, 97, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.045>
- Andrade, L. N. & De Sousa, D. P. (2013). A review on anti-inflammatory activity of monoterpenes. *Molecules*, 1.(1), 1227–1254. <https://doi.org/10.3390/molecules18011227>

- Angioni, A., Barra, A., Coroneo, V., Dessi, S. & Cabras, P. (2006). Chemical composition, seasonal variability, and antifungal activity of *Lavandula stoechas* L. ssp. *stoechas* essential oils from stem/leaves and Flowers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4364–4370. <https://doi.org/10.1021/jf0603329>
- Aprotosoia, A. C., Ciocârlan, N., Brebu, M., Trifan, A., Grădinaru, A. C. & Miron, A. (2018). Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Mentha gattefossei* maire essential oil. *Farmacia*, 66(5), 778–782. <https://doi.org/10.31925/farmacia.2018.5.6>
- Betts, T. J. (2001). Chemical characterisation of the different types of volatile oil constituents by various solute retention ratios with the use of conventional and novel commercial gas chromatographic stationary phases. *Journal of Chromatography A*, 936(1–2), 33–46. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)01284-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)01284-5)
- Boutekdjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R. & Bessiere, J. M. (2003). Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481–484.
- Bowles, J. (2001). The basic chemistry of aromatherapeutic essential oils. *International Journal of Aromatherapy*, 11(2), 112–113. [https://doi.org/10.1016/s0962-4562\(01\)80028-x](https://doi.org/10.1016/s0962-4562(01)80028-x)
- Chen, S., Ling, J. & Blancheton, J. P. (2006). Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 179–197. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>
- Chen, Y., Olson, D. M., & Ruberson, J. R. (2010). Effects of nitrogen fertilization on tritrophic interactions. *Arthropod-Plant Interactions*, 4(2), 81–94. <https://doi.org/10.1007/s11829-010-9092-5>
- Chouhan, S., Sharma, K. & Guleria, S. (2017). Antimicrobial Activity of Some Essential Oils—Present Status and Future Perspectives. *Medicines*, 4(4), 58. <https://doi.org/10.3390/medicines4030058>
- Chrysargyris, A., Nikolaidou, E., Stamatakis, A. & Tzortzakis, N. (2017). Vegetative, physiological, nutritional and antioxidant behavior of spearmint (*Mentha spicata* L.) in response to different nitrogen supply in hydroponics. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6, 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2017.01.006>
- Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (Secondary Metabolites). In biochemistry and molecular biology of plants. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00018-0>
- Dolezelova, P., Macova, S., Pistekova, V., Svobodova, Z., Bedanova, I. & Voslarova, E. (2011). Nitrite toxicity assessment in *Danio rerio* and *Poecilia reticulata*. *Acta veterinaria Brno*, 80, 309–312. <https://doi.org/10.2754/avb201180030309>
- Dos Santos, M. J., Batista, F. F., Paes, F., Takata, R., Costa, C., Campos, C., Kennedy, R., Campos, K. (2018). Biological responses of Neotropical freshwater fish *Lophosilurus alexandri* exposed to ammonia and nitrite. *Science of The Total Environment*, (616–617) 1566–1575. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.157>
- Eck, M., Körner, O. & Jijakli, M. H. (2019). Nutrient cycling in aquaponics systems. En S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen y G. Burnell. (Eds.), *Aquaponics Food Production Systems* (pp. 231–246). Springer Nature.
- Espejo, C. y Torres, E. (2001) Cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis* sp.) y plateada (*Oreochromis niloticus*). En H. Rodríguez, P. Daza y M. Carrillo, *Fundamentos de acuicultura continental* (pp. 283–289). INPA.
- Espinosa-Moya, A., Álvarez-González, Al., Albertos-Alpuche, P., Guzmán-Mendoza, R., & Martínez-Yáñez, R. (2018). Growth and development of herbaceous plants in aquaponic systems. *Acta universitaria*, 28(2), 1–8. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1387>
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H. & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7, 4199–4224. <https://doi.org/10.3390/su7044199>
- Gouran-Orimi, R., Mirzayi, B., Nematollahzadeh, A. & Tardast, A. (2018). Competitive adsorption of nitrate in fixed-bed column packed with bio-inspired polydopamine coated zeolite. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2232–2240. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.049>
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J. & Angel, D. (2019). Identifying knowledge levels of aquaponics adopters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4536–4540. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06758-8>
- Hameed, I. H., Hussein, H. J., Kareem, M. A. & Hamad, N. S. (2015). Identification of five newly described bioactive chemical compounds in methanolic extract of *Mentha viridis* by using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 7(7), 107–125.

- He, X., Du, X., Zang, X., Dong, L., Gu, Z., Cao, L., Chen, D., Keyhani, N., Yao, L., Qiu, J. & Guan, X. (2016). Extraction, identification and antimicrobial activity of a new furanone, grifolaone A, from *Grifola frondosa*. *Natural Product Research*, 30(8), 941–947. <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1081197>
- Heise, J., Müller, H., Probst, A. J. & Meckenstock, R. U. (2021). Ammonium Removal in Aquaponics Indicates Participation of Comammox Nitrospira. *Current Microbiology*, 78, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00284-021-02358-3>
- Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T., Jijakli, M. H. (2017) Strategic points in aquaponics. *Water*, 9(3), 1-9. <https://doi.org/10.3390/w9030182>
- Kim, H. J., Yang, T., Lin, M. Y. & Langenhoven, P. (2018). Plant propagation for successful hydroponic production. *Acta Horticulturae*, 1212, 109–115. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1212.22>
- König B., Janker, J., Reinhardt, T., Villarroel, M. & Junge, R. (2018). Analysis of aquaponics as an emerging technological innovation system. *Journal of Cleaner Production*, 180, 232–243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.037>
- Masotti, V., Juteau, F., Bessière, J. M. & Viano, J. (2003). Seasonal and Phenological Variations of the Essential Oil from the Narrow Endemic Species *Artemisia molinieri* and Its Biological Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7115–7121. <https://doi.org/10.1021/jf034621y>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P. & Borin, M. (2018). Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy*, 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>
- Meloni, D. A., Lescano, J. A., Arraiza, M. P. & Beltrán, R. E. (2019). Yield, chemical composition and functional properties of essential oils from *Mentha spicata* (Lamiaceae) in Santiago del Estero, Argentina. *UNED Research Journal*, 11(3), 327–333. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i3.2624>
- Nurzyńska-Wierdak, R. (2013). Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants? *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(5), 3–16.
- Oelkers, E. & Valsami-Jones, E. (2008). Phosphate Mineral Reactivity and Global Sustainability. *Elements*, 4, 83–88. <https://doi.org/10.1057/9780230583412>
- Peixoto, M. G., Bacci, L., Blank, A. F., Araújo, A. P. A., Alves, P. B., Silva, J. H. S. & Arrigoni-Blank, M. (2015). Toxicity and repellency of essential oils of *Lippia alba* chemotypes and their major monoterpenes against stored grain insects. *Industrial Crops and Products*, 71, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.084>
- Pérez-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguíbar, J., Fernández-Cañero, R., Fernández-Cabanás, V. M. (2019). Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*). *Aquacultural Engineering*, 85, 129-137. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.04.001>
- Pichersky, E., Noel, J. P. & Dudareva, N. (2006). Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. *Science*, 311(5762), 808–811. <https://doi.org/10.1126/science.1118510>
- Plazas-Jiménez, D., Macías-Villamizar, V. E. & Coy-Barrera, E. (2016). Antifungal Activity and Chemical Constituents of the Essential Oil from Leaves of *Nectandra longifolia* (Ruiz & Pav.) Nees. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 12(1), 66–73. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1855>
- Quagraine, K. K., Flores, R. M. V., Kim, H. J. & McClain, V. (2018). Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U.S. Midwest. *Journal of Applied Aquaculture*, 30(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1414009>
- Rakocy J. E. (2012). Aquaponics - integrating fish and plant culture. En J.H. Tidwell. (Ed.), *Aquaculture Production Systems*. Wiley..
- Rakocy, J., Masser, M. P. & Losordo, T. (2016). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics — Integrating Fish and Plant Culture. *AgriLife Extension*, 454, 1–17.
- Ramírez, L. M., Pérez, M. M., Jiménez, P., Hurtado, H. y Gómez, E. (2011) Evaluación preliminar de sistemas acuapónicos e hidropónicos en cama flotante para el cultivo de orégano (*Origanum vulgare*). *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 7(2), 102-119. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2057>

- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez-Ramírez, E., Rodríguez-Caicedo, D. y Hurtado-Giraldo, H. (2009). Montaje Y Evaluación Preliminar De Un Sistema Acuapónico Goldfish-Lechuga. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 154–170. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2128>
- Resh, H. M. (2012). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press.
- Riaño, E. R., Torres, A. C., Hurtado, H. y Gómez, E. 2015. Efecto del nivel de proteína cruda en la dieta sobre el crecimiento y excreción de nitrógeno amoniacal total de *Carassius auratus* (Cyprinidae) Linnaeus (1758) bajo condiciones de laboratorio. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 11(1), 34 – 47. <https://doi.org/10.18359/rfcb.380>
- Rodenak, B. E., Salvatori, J., Polo, M. P. y García, M. M. (2012). Acción combinada de los isoprenoides naturales geraniol, linalool, limoneno y 1,8 cineol sobre la proliferación de las líneas celulares HepG2 y A549. *Tercera Época*, 3(2), 1–2.
- Singh, R., Shushni, M. A. & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322–328. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.01.019>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. (2016). *Small-scale aquaponic food production*. FAO..
- Štefanidesová, K., Špitalská, E., Csicsay, F., Friedländerová, V., Šáner, A. & Škultéty, L. (2019). Evaluation of the possible use of genus *Mentha* derived essential oils in the prevention of SENLAT syndrome caused by *Rickettsia slovaca*. *Journal of Ethnopharmacology*, 232, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.12.005>
- Surendran, U., Chandran, C. & Joseph, E. J. (2017). Hydroponic cultivation of *Mentha spicata* and comparison of biochemical and antioxidant activities with soil-grown plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2320-6>
- Tahir, H. U., Sarfraz, R. A., Ashraf, A. & Adil, S. (2016). Chemical Composition and Antidiabetic Activity of Essential Oils Obtained from Two Spices (*Syzygium aromaticum* and *Cuminum cyminum*). *International Journal of Food Properties*, 19(10), 2156–2164. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1110166>
- Torres-Mesa, A. C. (2017). *Dinámica de nutrientes en sistemas cerrados de recirculación en el cultivo de *Piaractus brachipomus*, *Oreochromis* sp y *Cyprinus carpio*, para su aplicación en la acuaponía* [Tesis de maestría, Universidad Militar Nueva Granada]. RIUMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16356/TorresMesaAnaConstanza2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wilson, L. E., Duncan, N. C. & Crain, D. A. (2017). Comparison of Aquaponics and Hydroponics on Basil (*Ocimum basilicum*) Morphometrics and Essential Oil Composition. *Review of Undergraduate Research in Agricultural and Life Sciences*, 11(1), 1–16.
- Wongkiew, Sumeth., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J. W. & Kumar Khanal, S. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review Advanced WWTP control View project Bioresource Technology Special Issue on Anaerobic Digestion View project Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76, 9–19.
- Yanbo, W., Wenju, Z., Weifen, L. & Ziong, X. (2006). Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry*, 32(1), 49–54. <https://doi.org/10.1007/s10695-005-5744-2>
- Yildiz, H. Y., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D. & Parisi, G. (2017). Fish welfare in aquaponic systems: Its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—A review. *Water*, 9(1), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w9010013>

ENLACE ALTERNATIVO

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4704> (html)

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/4704/5615> (pdf)