

Artículo de investigación

Producción de *Lactuca Sativa L.* y *Ocimum Basilicum L.* en acuaponía: caracterización de aceites esenciales.

Production of *Lactuca Sativa L.* and *Ocimum Basilicum L.* In aquapony: characterization of essential oils.

Edna Rocío Riaño Castillo¹, Luis Alexander Páez Guevara²✉, Ludy Paola Villamil Moreno³, Ana Torres-Mesa⁴, Edwin Gómez-Ramírez⁵,

¹Magíster en Ciencias Agropecuarias, Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

²Magíster en Química, Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

³Magíster en Acuicultura, Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales. Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia.

⁴Magíster en Biología, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia.

⁵Magíster en Acuicultura, Programa de Biología Aplicada. Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas. Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia.

Recepción: 25-Ago-2023 Aceptado: 26-Ene-2024 Publicado: 23-julio-2024

Cómo citar: Riaño Castillo, E., Páez Guevara, L. A., Villamil Moreno, L. P., Torres Mesa, A., & Gómez Ramírez, E. (2024). Producción de lechuga y albahaca en acuaponía: caracterización de aceites esenciales. *Ciencia en Desarrollo*, 15(2). <https://doi.org/10.19053/01217488.v15.n2.2024.16444>

Resumen

La acuaponía es una estrategia que permite el ahorro de agua, eficiencia de nutrientes y producción limpia de alimentos. Sin embargo, su implementación todavía es un desafío en los países en vía de desarrollo por los problemas asociados a la baja eficiencia de recuperación de nutrientes, costo y calidad de agua; que afectan la producción y calidad de los alimentos. Es así que, este trabajo tuvo como objetivo establecer la producción de *Lactuca Sativa L.* y *Ocimum Basilicum L.* en un prototipo semicomercial acuapónico de *Oreochromis niloticus* y la caracterización del aceite esencial de *Ocimum Basilicum L.* Se evaluaron parámetros de calidad de agua del sistema, crecimiento de las especies vegetales y composición del aceite esencial extraído por destilación usando un equipo tipo clevenger. Los resultados mostraron concentraciones adecuadas de fosfato y nitrato para el crecimiento de las plantas y bajas niveles de K^+ , Ca^{2+} e Fe^{2+} . Las lechugas alcanzaron un peso promedio de 110-155 g a los 40 días de cultivo, mientras que la albahaca generó un peso fresco de 20.5 ± 8.7 a 40.7 ± 5.5 g a los 60 días del cultivo. Por otro lado, se observó que linalol y chavicol fueron los componentes principales del aceite esencial de albahaca y esto fue relacionado con el contenido de nutrientes presentes el sistema.

Palabras Clave: Aprovechamiento de residuos; chavicol; ciclo de nutrientes; linalol; calidad agua.

Abstract

Aquaponics is a strategy that allows water savings, nutrient efficiency and clean food production. However, its implementation is still a challenge in developing countries due to the problems associated with low nutrient recovery efficiency, cost and water quality; that affect the production and quality of food. Thus, this work aimed to establish the production of *Lactuca Sativa L.* and *Ocimum Basilicum L.* in a semi-commercial aquaponic *Oreochromis niloticus* prototype and the characterization of the essential oil of *Ocimum Basilicum L.* System water quality parameters, growth of the plant species and composition of the essential oil extracted by distillation using clevenger-type equipment. The results showed adequate concentrations of phosphate and nitrate for plant growth and low levels of K^+ , Ca^{2+} e Fe^{2+} . The lettuces reached an average weight of 110-155 g after 40 days of cultivation, while the basil generated a fresh weight of 20.5 ± 8.7 to 40.7 ± 5.5 g after 60 days of cultivation. On the other hand, it was observed that linalool and chavicol were the main components of basil essential oil and this was related to the content of nutrients present in the system.

Keywords: Waste management; chavicol; nutrient cycling; linalool; water quality.

1. Introducción

La acuaponía es un modelo de producción sostenible que integra la producción de peces y de vegetales sin el uso de suelo, bajo un sistema de recirculación cerrada o abierta; permitiendo transformar desechos por acción de microorganismos en especies químicas que puede absorber la planta, por lo cual esta técnica se presenta como una alternativa para la producción de alimentos con menos contaminantes [1, 2]. Un sistema acuapónico depende de varios factores como la población involucrada, el sitio de instalación, condiciones climáticas, costos de construcción y parámetros de calidad de agua para el crecimiento y desarrollo tanto de peces como de las plantas, donde el acompañamiento por profesionales y apoyo financiero son fundamentales para implementar y desarrollar esta tecnología.

La acuaponía permite a mediano plazo mejorar las condiciones socio-económicas en la población, debido al acceso de alimentos más saludables, mayor calidad y la generación de productos de valor agregado, como los aceites esenciales [2, 3]. Dentro de las especies vegetales y animales más llamativas se destacan la lechuga por su rápido crecimiento y desarrollo, bajo mantenimiento y baja sensibilidad a la temperatura del agua; la albahaca presenta crecimiento rápido, no es necesario polinizadores, hábito de crecimiento compacto, sistema de raíces fibrosas y poco profundas y alta demanda en fresco por los beneficios en la salud humana; y finalmente la tilapia se destaca por su alta resistencia a enfermedades, parásitos y cambios en los parámetros químicos y físicos de calidad en agua. En este sentido, este trabajo de investigación planteó como objetivo establecer la producción de *Lactuca Sativa L.* y *Ocimum Basilicum L.* en un prototipo semicomercial acuapónico de *Oreochromis* y la caracterización del aceite esencial de *Ocimum Basilicum L.*, con el propósito de beneficiar a la comunidad del municipio de Chitaraque, Boyacá

2. Metodología

Lugar y condiciones del ensayo.

El estudio se realizó en la granja piscícola de tilapia "Pesque y coma" ubicada en Chitaraque, Boyacá. El área total de la unidad hidropónica fue de 60 m² con capacidad de siembra de 1500 vegetales y 2 tanques de peces de geomembrana (32 m³) (Figura 1).

Se sembraron 1800 peces por tanque con un peso de 2.06 ± 0.35 g en el tanque uno y 1.5 ± 0.45 g en el tanque dos. Las plantas se sembraron 15 días después, cuando las concentraciones de nitrato fueron mayores a 80 mg/L [4]. Durante tres meses y cada 15 días se realizaron siembras escalonadas de lechuga crespita verde variedad vera y crespita morada variedad scarlett. Además, se realizaron dos siembras de albahaca durante los 3 meses de evaluación (Tabla 1).

Tabla 1. Densidad de siembra de plantas de acuerdo con la biomasa de peces en el sistema acuapónico

Mes	Biomasa de peces (Kg)	Densidad de siembra Lechuga vera	Densidad de siembra Lechuga scarlett	Densidad de siembra Albahaca genovesa
Mes 1	7,4	100	100	50
Mes 2	12	200	-	-
		300	-	50
Mes 3	40	300	-	-
		300	300	-

VARIABLES EVALUADAS.

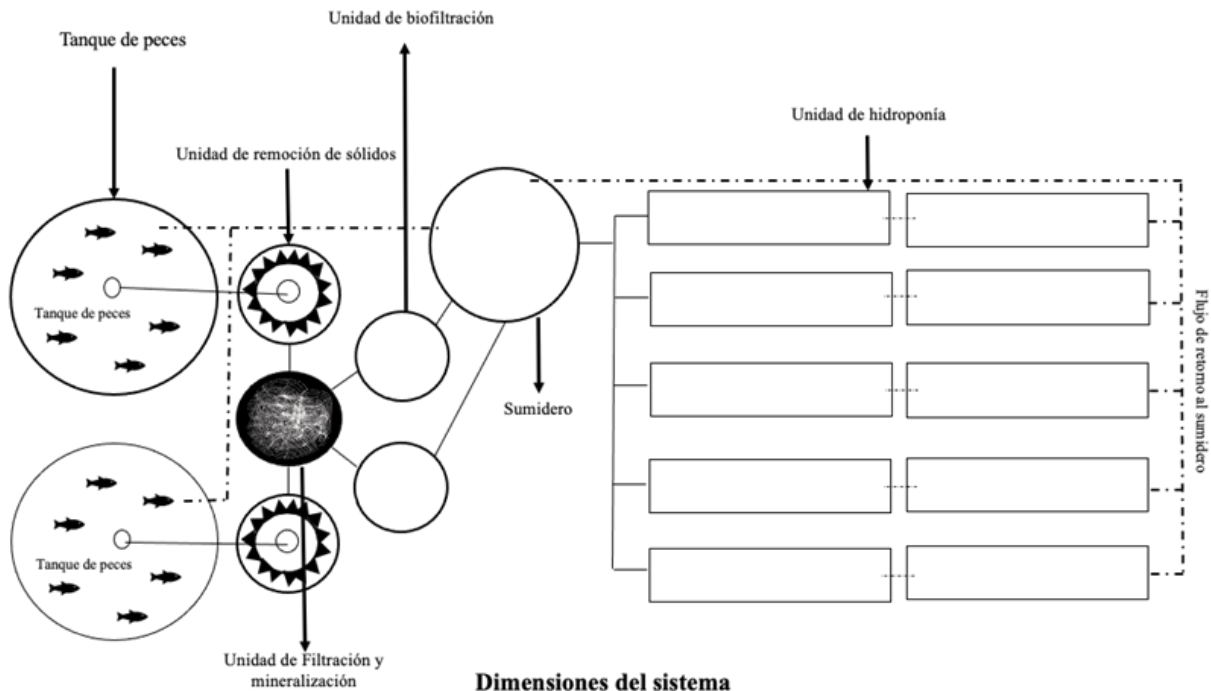
Semanalmente se tomaron muestras de agua en las unidades de peces para el registro de pH, temperatura, conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (TDS) y oxígeno disuelto (OD) a partir del equipo multiparamétrico Hanna® HI 98194. El nitrógeno amoniacal total (TAN) y nitrito (NO₂⁻) se registraron con kits de alta sensibilidad Merck® en el equipo Spectroquant Multy®, la alcalinidad (KH) a partir del kit de alcalinidad de Merck®.

Por otro lado, se tomaron muestras de agua a la entrada de las camas hidropónicas, donde se realizaron cada 15 días mediciones de los parámetros nutricionales y se determinó la concentración calcio (Ca²⁺), potasio (K⁺), magnesio (Mg²⁺), zinc (Zn²⁺) e hierro (Fe²⁺) por absorción atómica. El contenido de nitrato (NO₃⁻) se midió con la prueba Horiba LAQUATwin y el fosfato (PO₄⁻) se midió con el checker Hanna instruments. Adicionalmente, como suplemento nutricional se aportó semanalmente quelato de hierro (FeDTPA al 13%) y fermento de compost para el aporte de potasio, a una concentración de 5000 a 5500 mg/L. El fermento de compost se preparó a través de la siguiente fórmula: 10 Kg de compost + 20 L de agua + 4 L de bacterias ácido lácticas + 1.5 Kg de melaza. Se dejó fermentar durante 48 horas para su aplicación semanal de 40 L en las unidades hidropónicas del cultivo.

Los parámetros de crecimiento fueron registrados al final de la cosecha, determinando el peso fresco. Para la lechuga se seleccionaron al azar 50 unidades a los 40 días después del trasplante, que correspondió al tiempo de cosecha. En albahaca se registró el peso fresco del total de las plantas sembradas a los 60 días después del trasplante.

Extracción y caracterización de aceites esenciales (AE) de albahaca variedad genovesa.

El AE fue extraído usando un equipo de destilación Clevenger. El AE se extrajo de las hojas secadas en el horno a una temperatura de 30°C hasta peso constante. Se tomaron 200 g de hojas secas y la destilación se dejó por un periodo de 2 horas. El análisis composicional del AE de albahaca se realizó por cromatografía de gases en un GC VARIAN 3800 acoplado a un espectrómetro de masas VARIAN Saturn 2000 localizado en el laboratorio de Catálisis de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Para la separación se usó una columna capilar Rtx-5 (30 m longitud x 0.25 mm diámetro interno y 0,10 μm de espesor de película), presión de 15 Psi usando He como gas de arrastre. La temperatura



Dimensiones del sistema

Tanque de peces: Diámetro 6 mts;
altura columna de agua 1.1 mts;
Volumen: 31 m³.

Tanque remoción: Diámetro 1.8 mts;
altura columna de agua 1.7 mts;
Volumen: 3 m³.

Tanque filtración y mineralización:
Diámetro 1.8 mts;
altura columna de agua 1.7 mts;
Volumen: 3 m³.

Tanque de Biofiltración y mineralización:
Diámetro 1.8 mts;
altura columna de agua 1.7 mts;
Volumen: 3 m³.

Unidad hidropónica:

Longitud: 5 y 7 mts; ancho: 1 mt;
altura 0.4 mts;
Volumen: 2.8 y 2 m³.

Sumidero: Diámetro 2.5 mts;
altura 1.0 mts;
Volumen: 4 m³.

Blowers: 2 blowers de 1 Hp para biofiltro y peces.

Bomba de agua:
½ Hp etapa inicial
1 Hp etapa final
Total área: 250 m²

Figura 1: Diseño del sistema acuapónico en tecnología de cama flotante (DWC "Deep water crop"). Área total 250 m². En base al diseño propuesto por [4]

del inyector fue de 250°C y la del detector de 230°C. La rampa de calentamiento de la columna fue: 60°C (durante 1 min), aumentó a 240 a 4°C (durante 1 min), luego se aumentó hasta 280°C a razón de 10°C min⁻¹ (durante 1 min). Los metabolitos presentes en el AE se identificaron comparando sus espectros de masas con los de la base de datos del dispositivo y la base de datos NIST 17.

3. Resultados y Discusión

Parámetros físico-químicos de agua a la entrada de las camas hidropónicas

Durante los tres meses de cultivo se observó un incremento en K⁺, Mg²⁺ y Ca²⁺ (Tabla 2). Las concentraciones de Ca²⁺ fueron similares a lo reportado en otros estudios [5, 6], mientras que las concentraciones de K⁺ fueron superiores en este estudio, debido a la suplementación semanal que se aportó

de fermento de compost (5000 a 5500 mg/L de K⁺). Por otro lado, el (PO₄⁻) y NO₃⁻ mostraron un incremento en la concentración como consecuencia de la excreción de compuestos nitrogenados, heces de peces y alimento no consumido [7]. Finalmente, las concentraciones de K⁺ y Ca²⁺ están por debajo de los niveles requeridos para lechuga [8], lo que pudo contribuir en el lento crecimiento y ciclos de 40 días.

En albahaca un incremento en el rendimiento se debe a la predominación de N y K⁺, logrando obtener buenos rendimientos con dosis de 100-190 Kg/Ha de N y 125-237.5 Kg/Ha de K⁺ a los 77 días después de trasplante [4, 9]. En el presente ensayo las concentraciones de N en forma de NOK³⁻ se mantuvieron en los rangos adecuados, sin embargo, el K⁺ presentó variaciones en su comportamiento y estuvo por debajo de los límites recomendados en la mayor parte del ensayo, lo que pudo influir en el desarrollo y crecimiento de la albahaca (Tabla 2).

Tabla 2. Nutrientes en solución acuapónica durante la producción de lechuga y albahaca.

Semana	K ⁺	Ca ²⁺	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	Mg ²⁺	Zn ²⁺	Fe ²⁺
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
1	5,28	4,67	51,00	7,30	0,24	0,001	0,170
3	38,22	11,77	60,00	7,50	0,85	0,001	0,110
5	78,36	34,17	93,00	8,30	1,87	0,030	0,540
7	29,44	20,98	180,00	10,00	1,39	0,020	0,330
9	64,63	37,33	132,00	10,30	2,92	0,120	0,030
11	40,32	25,62	143,00	10,60	4,34	0,040	0,001
13	42,32	47,66	120,00	10,80	4,32	0,030	0,001
15	24,79	57,29	110,00	11,20	11,22	0,001	0,001

La cantidad total de alimento consumido por la tilapia fue de 179.4 kg y la biomasa total de lechuga cosechada fue de 141 kg en la variedad vera y 23 kg de scarlett, para un total de 164 kg. A partir de estos datos la relación entre la cantidad de alimento suministrado y la biomasa cosechada de lechuga fue de 179.4 kg de alimento/164 kg biomasa total cosechada; presentado una relación 1:1. Esta relación entre el suministro de alimento y la producción de plantas, logró contribuir a mantener las condiciones de calidad de agua (Tabla 3) y promover el crecimiento de organismos.

El Fe²⁺ es un importante microelemento para las plantas y es deficiente en los sistemas acuapónicos por lo que debe ser suplementado en formas que no sean tóxicas para los peces [10]. En este estudio el Fe²⁺ fue suplementado bajo la forma de quelato de Fe²⁺ DTPA, que es altamente asimilable por las plantas y no afecta a los peces [11]. Sin embargo, se puede observar que este elemento comenzó a disminuir drásticamente desde la semana 9, lo que pudo haber afectado el adecuado crecimiento de las plantas en especial las albahacas las cuales tienen mayores requerimientos [12]. A pesar de esta disminución no se presentaron deficiencias nutricionales en las plantas por este elemento. Por tal motivo, se recomienda aumentar la cantidad y periodicidad de adición de quelato de hierro si se va a trabajar en un policultivo como por ejemplo lechugas y albahacas. Por su parte el Zn²⁺ es un microelemento que generalmente se encuentra en bajas concentraciones (deficiente) en los sistemas acuapónicos; y su importancia está asociada a su función como cofactor de varias enzimas y promueve la formación de clorofila evitando la aparición de Fitopatologías como la clorosis [13]. En este trabajo, el contenido de Zn²⁺ se mantuvo en bajas concentraciones (Tabla 3), resultados que difieren de los reportados por Ramírez et al., 2009 [14], donde este alcanzó niveles de 1.49 mg/L. A partir de las concentraciones obtenidas de Zn²⁺ en este experimento; se puede concluir que este no fue un elemento limitante para el adecuado crecimiento de plantas y peces.

Parámetros de calidad de agua en tanques de tilapia

Se ha reportado que las bajas concentraciones de TAN generan un mejor desarrollo para el cultivo de las plantas en términos de peso fresco y seco, puesto que el TAN en altas concentraciones es tóxico para las plantas [4, 13]. Así mismo, altos niveles de NO₂⁻ para plantas de follaje son tóxicos, presentando reducción en el crecimiento, en términos de altura y número de hojas [13]. Por otro lado, la CE es un

parámetro ampliamente utilizado en la hidroponía como una medida indirecta de la cantidad de nutrientes en una solución reportando concentraciones óptimas entre 1500-1800 µS/cm [14]. En este ensayo se encontraron bajos valores de CE, lo cual es común en los sistemas acuapónicos, como ocurrió en los trabajos de Ramírez et al. [10]; Torres-Mesa et al. [2]. No obstante, un bajo valor de CE no implica una baja disposición de nutrientes, debido a que en los sistemas acuapónicos se genera una producción constante de nutrientes por la recirculación y los procesos de biofiltración y mineralización [2]. Los sólidos totales disueltos (TDS) es un parámetro poco estudiado en acuaponía, y al igual que la CE un indicador indirecto de la cantidad de nutrientes en una solución. Los valores de TDS estuvieron entre los rangos reportados para otros sistemas acuapónicos [11, 15]. El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro crucial para el desarrollo y la salud de los organismos acuáticos, ya que interviene directamente en los procesos biológicos, la tasa de crecimiento, metabolismo y supervivencia de los animales [6]. Los niveles reportados en el presente estudio (5.6 ± 2.06 y 5.6 ± 2.06 y 4.9 ± 1.53) estuvieron dentro de los rangos óptimos para tilapia.

El pH es uno de los parámetros más importantes en la acuaponía, debido a que los diversos organismos del sistema (plantas, bacterias y peces) presentan diferentes valores pH [16]. En general el sistema se mantuvo básico (7.20-7.64) lo que pudo haber afectado la asimilación de nutrientes por parte de las plantas. Ramírez et al. [10] reporta que en pH ácidos entre 5.0-6.0 se presenta una mayor absorción de macro y micronutrientes, lo que pudo haber explicado una disminución del rendimiento de las albahacas. No obstante, ese pH puede afectar el adecuado funcionamiento de las bacterias nitrificantes, incrementando el TAN y el nitrito en el sistema, lo cual no ocurrió, pues estos componentes nitrogenados nunca estuvieron en concentraciones que pudieran haber afectado negativamente a los peces [17] (Tabla 3). La alcalinidad es un parámetro que se relaciona con la presencia de iones carbonatos y bicarbonatos en el agua, lo que genera un sistema de amortiguación que ayuda a mantener el pH relativamente estable, como se observó en el presente estudio; así mismo, también son una fuente principal de carbono para las bacterias nitrificantes. En el presente estudio se obtuvo concentraciones de 84 y 85 mg/L, un poco menores a lo recomendado por algunos autores de 100 mg/L [4].

En este ensayo la temperatura del agua osciló entre 22 y 23 °C. Nelson (2008) menciona que los sistemas acuapónicos deberían mantener temperaturas entre 21.1- 23.3°C siendo el óptimo 23.8 °C, pues temperaturas superiores pueden ocasionar

nar disminución en las tasas de crecimiento, incremento de la evapotranspiración, y mayor susceptibilidad a enfermedades. Por lo tanto, se puede deducir que la temperatura del agua en este estudio fue adecuada para el óptimo crecimiento de la lechuga y la albahaca.

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua en los tanques de peces del sistema acuapónico.

Parámetro	Unidades	Tanque 1	Tanque 2
TAN	mg/L	0.23 ± 0.19	0.22 ± 0.18
NO2-	mg/L	0.03 ± 0.02	0.02 ± 0.01
CE	μS/cm ²	342.40 ± 39.10	296.13 ± 60.70
TDS	mg/L	171.27 ± 19.73	148.27 ± 30.49
KH	mg/L	84 ± 24	85 ± 25
OD	mg/L	5.6 ± 2.06	4.9 ± 1.53
pH	—	7.64 ± 0.25	7.20 ± 0.44
Temperatura	°C	23.39 ± 1.12	22.64 ± 1.11

Comportamiento en el crecimiento de lechuga y albahaca.

El crecimiento de las dos variedades de lechugas fue comparable con cultivos en tierra (Figura 2), donde obtuvieron un crecimiento máximo de lechuga Batavia de 27.44 g en 60 días, lo cual fue atribuido a la salinidad de los suelos de la Sabana de Bogotá [18]. Al comparar los resultados con otros sistemas acuapónicos, nuevamente este trabajo presenta mejores valores de crecimiento. Por ejemplo, en otros estudios se obtuvieron pesos promedio de lechuga de 118.20 g y 94.40 g al evaluar dos densidades con tilapia (*Oreochromis sp.*), 50 y 25 peces/0.5 m³, incluso en un mayor tiempo de cultivo, 90 días [19]. De igual manera, ocurrió con el sistema acuapónico lechuga-Goldfish (*Carasius auratus*) donde obtuvieron pesos de cosecha entre 68.55 ± 4.84 y 85.85 ± 3.45 g en 60 días de cultivo [20], 20 días más al del presente trabajo. Resultados similares fueron obtenidos al comparar el crecimiento de lechugas (110-155 g) en hidroponía [21]. No obstante, este sistema acuapónico exhibió un menor crecimiento en sus dos variedades de lechuga al ser comparado con una solución hidropónica Resh, la cual es específica para lechuga [21].

En el cultivo de albahaca las plantas llegaron a un peso promedio de 20.5 ± 8.7 g en la primera cosecha y 40.7 ± 5.5 g en la segunda cosecha a los 60 días de cultivo. La diferencia en crecimiento entre estas dos cosechas se debe a que las plantas presentaron pudrición en el tallo, síntomas relacionados al ataque de *Pythium*, generando una mortalidad del 50%. Esta afección probablemente ocurrió debido a las condiciones climáticas como, las altas precipitaciones e incremento de la humedad que se presentó en el cultivo.

En albahaca, reportaron a los 60 días después de trasplante en hidroponía un peso de 250.7 g [22]. Para la variedad genovesa en acuaponía con tilapia durante un período de 49 días reportando un peso fresco de 110 ± 50.4 g [12], mientras que la evaluación del crecimiento de diversas variedades de albahaca en acuaponía con tilapia de nilo (77 peces/m³) alcanzado para la variedad genovesa a los 112 días de cultivo un peso fresco promedio de 220 g [23]. El lento crecimiento observado en el ensayo concuerda con los resultados nutricionales, donde no estaban los niveles mínimos requeridos para la albahaca.

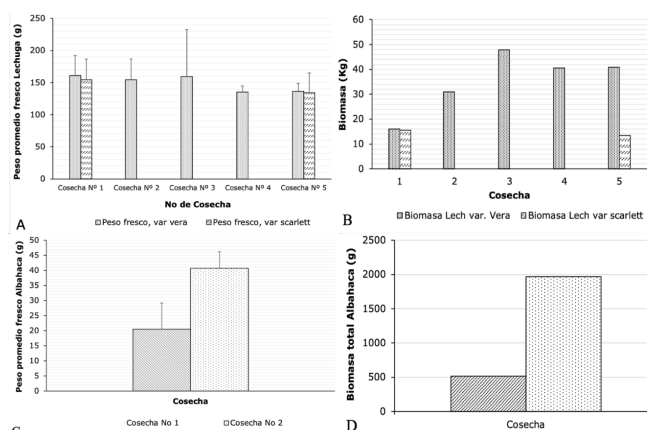


Figura 2: Crecimiento de las plantas. A) Peso fresco de lechuga durante la cosecha. B) Biomasa total de lechuga. C) Peso fresco de albahaca durante la cosecha. D) Biomasa total en gramos de Albahaca.

Evaluación del contenido de aceites esenciales en albahaca.

Los resultados muestran que los mayores componentes fueron linalol y chavicol, los cuales representan un 77 % del total de los metabolitos presentes; por otro lado, 1,8 cineol y α -cadinol representaron un 10 % del total (Tabla 4). Uno de los atractivos de los AE es su aplicación en el campo de la medicina para tratar o prevenir diferentes tipos de enfermedades como fatiga mental, combatir resfriados, disminuir espasmos, rinitis y se ha demostrado efectos contra picaduras de avispas y mordeduras de serpientes [24], como consecuencia de la amplia variedad de sustancias presentes en el AE. La composición del AE obtenido en condiciones acuapónicas podría tener aplicación como material natural suplementario en procesos antiinflamatorios por el alto contenido de monoterpenos como el linalol como lo demostró un estudio donde evaluaron el efecto de mejora del AE de *O. basilicum*. en un modelo de colitis inducida por ácido acético en ratas, donde el linalol fue el metabolito con mayor contribución (39.37 %) [25].

Las características composicionales del AE dependen de varios factores como método de cultivo, especie, parámetros climatológicos, disponibilidad de nutrientes, estrés, método de extracción, entre otros. Por otro lado, han encontrado que el mayor componente fue linalol (32%) en muestras de albahaca cultivadas en invernadero bajo sistema hidropónico abierto usando tezontle como sustrato [22]. En cuanto a la extracción del aceite esencial de *O. basilicum*. con diferentes temperaturas de secado de las hojas y extraído mediante la combinación del método Clevenger y ultrasonido [26]. El material empleado fue albahaca cultivada en suelo sin el uso de pesticidas como control de plagas y fue secado con circulación de aire forzado. El estudio muestra la presencia de componentes mayoritarios; estragol (85%) y linalol (12%).

Los componentes del AE extraído por hidrodestilación de las partes aéreas de *O. basilicum* cultivadas en suelo en diferentes etapas fenológicas (prefloración, floración y posfloración). Los resultados mostraron que eugenol y linalol son los com-

Tabla 4. Composición porcentual de aceite esencial de *Ocimum basilicum* cultivada en sistema acuapónico.

Compuesto	Fórmula	Porcentaje	T.R
alfa-pineno	C ₁₀ H ₁₆	0.20	4.22
Camphene	C ₁₀ H ₁₆	0.59	5.06
1,8 cineol	C ₁₀ H ₁₈ O	4.16	6.37
linalol	C ₁₀ H ₁₈ O	45.65	8.66
Chavicol methyl ether	C ₁₀ H ₁₂ O	32.03	11.66
Bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O	0.14	14.32
alfa-copaene	C ₁₅ H ₂₄	0.10	16.387
NI	—	0.23	17.51
NI	—	1.12	17.7
Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	0.31	18.58
Alfa-guaiene	C ₁₅ H ₂₄	0.89	19.24
NI	—	1.33	19.68
Calamenene	C ₁₅ H ₂₂	0.92	20.00
NI	—	3.07	20.58
Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	1.72	21.04
epialfacadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	1.95	21.63
α -cadinol	C ₁₅ H ₂₆ O	5.57	25.5

ponentes mayoritarios en todas las etapas fenológicas. El mayor porcentaje de eugenol se observó en la etapa de pre-floración con un 36.17 % y el mayor porcentaje de linalol se observó en la etapa de floración con un 39.58 % [27]. A su vez, se extrajeron AE usando EDC y hojas de albahaca de plantas maduras cultivadas en condiciones controladas en un vivero de horticultura [28]. Se logró identificar 15 compuestos donde el estragol, linalol, trans- α -Bergamotene y 1,8 cineol fueron los componentes mayoritarios con porcentajes de contribución de 52.3 %, 15.7 %, 7.29 % y 5.56 %, respectivamente.

Las proporciones de metabolitos presentes en el AE obtenido en condiciones acuapónicas, hidropónicas y en suelo, presentan un comportamiento heterogéneo donde linalol, estragol, eugenol y 1,8 cineol representan los metabolitos con mayores proporciones. Los resultados obtenidos en este trabajo son similares a otros estudios donde estragol y linalol aportaron el 67.7 % de contribución del total de los metabolitos [28]. Adicionalmente, se observó contenidos altos de eugenol y 1,8 cineol; y bajas proporciones de estragol en AE cultivados en suelo, diferente a lo encontrado por otros autores [28]. Este comportamiento en el contenido de metabolitos en los AE podría estar relacionado con la disponibilidad de nutrientes en cada uno de los ensayos. La evaluación del contenido de metabolitos en el AE de albahaca morada en diferentes tipos de suelos (arcillosos, franco-arenosos y franco-arcillosos). Los resultados estadísticos mostraron que la CE tenía un efecto fuerte negativo sobre el contenido de 1,8 cineol, el contenido de CaCO₃ un efecto fuerte negativo sobre el linalol, el contenido de P₂O₅ y K₂O un efecto fuerte positivo sobre 1,8 cineol [29]. En este estudio, el 1,8 cineol no fue el metabolito con mayor proporción y podría estar asociado a deficiencias de P y K. Por otro lado, bajos niveles de Ca y P disponibles para ser absorbidos por la planta en las camas podrían estar relacionado con el mayor contenido de linalol acorde a lo reportado por otros autores [29].

Se ha evaluado el uso de fertilizantes orgánicos y convencionales con diferentes dosis de N sobre el crecimiento y características del AE de albahaca dulce en invernadero. Un aumento de N en los tratamientos donde se empleó el

fertilizante convencional (NPK) afectó significativamente el contenido de linalol, pasando de una contribución del 37.91 % con 150 kg N/ha a 46.64 % con 250 kg N/ha; por otro lado, el abono orgánico no mostró diferencias significativas entre los metabolitos [30]. En este estudio se observó que el linalol es el componente principal, y esto podría estar asociado a altos niveles de N disponible para ser absorbido rápidamente por la planta [30]. Además, el perfil del AE de albahaca producido en el sistema acuapónico podría clasificarse como quimiotipo de linalol [31] debido a la abundancia relativa de los principales metabolitos o como quimiotipo europeo, que se caracteriza por cantidades de linalol entre 35 a 50 % [32].

4. Conclusiones

La evaluación del prototipo semi-comercial para la producción limpia y sostenible de lechuga y albahaca en el municipio de Chitaraque-Boyacá, presentó concentraciones ideales de fosfatos y nitratos para lechuga y albahaca; sin embargo, las concentraciones de K⁺, Ca²⁺ y Fe²⁺ estuvieron por debajo de los requerimientos del cultivo, lo cual influyó en el crecimiento. Los componentes mayoritarios del AE de *O. basilicum* fueron linalol y chavicol, que son comparables con los presentados en cultivos convencionales. Finalmente, se concluye que el sistema acuapónico de Chitaraque-Boyacá puede ser una alternativa eficiente para la generación de especies vegetales y sustancias de alto valor agregado como AE y podría contribuir en el desarrollo económico de este municipio.

Implicaciones éticas

El trabajo de investigación desarrollado no involucró el manejo directo de especies animales ni la participación de seres humanos, garantizando así el cumplimiento de los principios éticos de investigación. El trabajo se centró en la producción vegetal y la caracterización de aceites esenciales de lechuga y albahaca, evitando impactos sobre el bienestar animal o humano. Es así, que el estudio se alinea con las normativas éticas vigentes, promoviendo un enfoque sostenible y responsable sin generar riesgos o afectaciones a terceros.

Contribución de los autores

Edna Rocío Riaño Castillo: metodología, trabajo de campo, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original; Luis Alexander Páez Guevara: metodología, análisis de datos, conceptualización, escritura borrador original, revisión y edición; Ludy Paola Villamil Moreno: metodología, revisión, edición y administrador del proyecto; Ana Torres-Mesa: análisis de datos, conceptualización, escritura borrador original; Edwin Gómez-Ramírez: metodología, revisión y edición. Todos los autores revisaron los resultados y aprobaron la versión final del manuscrito.

Declaración de fuentes de financiación

Los autores agradecen a MinCiencias por el financiamiento del proyecto titulado "Implementación de sistemas acua-

pónicos para la producción limpia y sostenible de peces y hortalizas como estrategia para promover el emprendimiento y la competitividad en las comunidades piscícolas de las provincias de Lengupa y Ricaurte, departamento de Boyacá” en la convocatoria para el cierre de brechas sector agropecuario Boyaca No 865-2019

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses con respecto a la publicación de este artículo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a MinCiencias por el financiamiento del proyecto titulado “Implementación de sistemas acuapónicos para la producción limpia y sostenible de peces y hortalizas como estrategia para promover el emprendimiento y la competitividad en las comunidades piscícolas de las provincias de Lengupa y Ricaurte, departamento de Boyacá” en la convocatoria para el cierre de brechas sector agropecuario Boyacá No 865-2019, a la Fundación Universitaria Juan de Castellanos y al programa de Biología Aplicada de la Universidad Militar Nueva Granada.

Referencias

- [1] E. R. Riaño-Castillo et al., “Cambios en los niveles de nutrientes en solución hidropónica de espinaca baby (*Spinacia oleracea* L.), para su futura aplicación en acuapónica,” *Orinoquia*, vol. 23, no. 1, pp. 73–84, Jun. 2019, doi: 10.22579/201112629.544.
- [2] A. Torres-Mesa, L. Cifuentes-Torres, H. Hurtado-Giraldo, and E. Gómez-Ramírez, “Evaluation of plant-fish ratio in an aquaponic system with different stocking densities of *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*,” *AACL Bioflux*, vol. 16, no. 1, pp. 606–615, 2023.
- [3] D. Cardenas Laverde, A. C. Torres Mesa, and E. Gómez Ramírez, “Identificación de aceites esenciales y parámetros productivos de *Mentha spicata* cultivada en sistemas acuapónicos y camas contenidas,” *Rev. Investig. Agrar. y Ambient.*, vol. 13, no. 2, pp. 149–163, 2022, doi: 10.22490/21456453.4704.
- [4] J. E. Rakocy, “Aquaponics: Integrating fish and plant culture,” in *Recirculating Aquaculture System*, 2nd ed., M. B. Timmons and J. M. Ebeling, Eds. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2010, pp. 807–864.
- [5] A. Graber and R. Junge, “Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production,” *Desalination*, 2009, doi: 10.1016/j.desal.2008.03.048.
- [6] G. Rafiee and C. R. Saad, “Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis* sp.) growth in a recirculating aquaculture system,” *Aquaculture*, 2005, doi: 10.1016/j.aquaculture.2004.10.029.
- [7] B. da S. Cerozi and K. Fitzsimmons, “Use of *Bacillus* spp. to enhance phosphorus availability and serve as a plant growth promoter in aquaponics systems,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 211, pp. 277–282, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.scienta.2016.09.005.
- [8] J. Valverde, “Establecimiento de curvas de absorción para lechuga bajo el sistema hidropónico de NFT,” Universidad de Costa Rica, 2013.
- [9] E. Combatt, D. Pérez Polo, J. Villalba Arteaga, J. Lazaro, and A. Jarma-Orozco, “Macronutrientes en el tejido foliar de albahaca *Ocimum basilicum* L. en respuesta a la aplicación de nitrógeno y potasio,” vol. 23, Jul. 2020, doi: 10.31910/rudca.v23.n2.2020.1325.
- [10] L. M. Ramírez Sánchez, M. M. Pérez Trujillo, P. Jiménez, H. Hurtado Giraldo, and E. Gómez Ramírez, “Acuapónicos e hidropónicos en cama flotante para el cultivo de orégano,” *Rev. Fac. Ciencias*, vol. 7, no. 2, pp. 242–259, 2011.
- [11] J. P. Aguirre-Galindo, A. C. Torres-Mesa, M. M. Pérez-Trujillo, S. A. Rubio-Castro, and E. Gómez-Ramírez, “Evaluation of *Fragaria x ananassa* in an aquaponic system with *Oncorhynchus mykiss* and substrate culture conditions,” *AACL Bioflux*, vol. 16, no. 5, pp. 2589–2600, 2023, [Online]. Available: <http://bioflux.com.ro/docs/2023.2589-2600.pdf>.
- [12] L. Pandales and H. Santos, “Evaluación del desempeño de un sistema acuapónico con tres variedades de albahaca bajo condiciones de invernadero como una alternativa de producción limpia,” Universidad Militar Nueva Granada, 2017.
- [13] P. Chen et al., “Maximizing nutrient recovery from aquaponics wastewater with autotrophic or heterotrophic management strategies,” *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 21, p. 101360, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101360>.
- [14] R. L. Nelson and J. S. Pade, *Aquaponic Food Production: Growing Fish and Vegetables for Food and Profit*. Nelson and Pade, Incorporated, 2008.
- [15] Z. M. Nadia, A. R. Akhi, P. Roy, F. B. Farhad, M. M. Hossain, and M. A. Salam, “Yielding of aquaponics using probiotics to grow tomatoes with tilapia,” *Aquac. Reports*, vol. 33, p. 101799, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2023.101799>.
- [16] E. R. Riaño-Castillo, E. Gómez-Ramírez, A. Torres-Mesa, and L. P. Villamil Moreno, Producción de peces y hortalizas en un sistema acuapónico, bajo un modelo familiar, Primera. Tunja, Boyacá: Buhos Editores Ltda, 2023.
- [17] E. R. Riaño-Castillo, “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,” *Rev. la Fac. Ciencias*, vol. 11, no. 1, pp. 34–47, 2015, doi: 10.18359/rfcb.380.
- [18] C. Carranza, O. Lanhero, D. Miranda, and B. Chaves, “Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) ‘Batavia’ cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá,” *Agron. Colomb.*, vol. 27, no. 1, pp. 41–48, Aug. 2009, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180314730006>.

- [19] E. W. Moreno Simón and A. Z. Trelles, "Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia," *Rev. Investig. Científica REBIOL*, ISSN-e 2313-3171, Vol. 34, No. 2, 2014 (Ejemplar Dedic. a Rev. Investig. CIENTÍFICA(REBIOL)), págs. 60-72, vol. 34, no. 2, pp. 60-72, 2014, Accessed: Aug. 24, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8143148&info=resumen&idioma=SPA>.
- [20] D. Ramírez, D. Sabogal, E. Gómez, D. Rodríguez, and H. Hurtado, "Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish- lechuga," *Rev. la Fac. Ciencias*, vol. 5, no. 1, pp. 154-170, 2009.
- [21] R. Pertierra and J. Gonzabay, "Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido," *La Granja*, vol. 31, pp. 118-130, Feb. 2020, doi: 10.17163/lgr.n31.2020.09.
- [22] L. A. Guerrero-Lagunes, L. del Mar Ruíz-Posadas, M. de las Nieves Rodríguez-Mendoza, and M. Soto-Hernández, "Quality and Yield of basil (*Ocimum basilicum* L.) essential oil under hydroponic cultivation," *Agro Product.*, vol. 13, no. 9, 2020, [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:229037426>.
- [23] R. Ferrarezi and D. Bailey, "Basil Performance Evaluation in Aquaponics," *Horttechnology*, vol. 29, pp. 1-9, Feb. 2019, doi: 10.21273/HORTTECH03797-17.
- [24] T. Baytop, "Tratamiento con plantas en Turquía." Universidad de Estambul, 1984.
- [25] A. Rashidian, P. Roohi, S. Mehrzadi, A. Ghannadi, and M. Minaiyan, "Protective Effect of *Ocimum basilicum* Essential Oil Against Acetic Acid-Induced Colitis in Rats," *J. Evid. Based. Complementary Altern. Med.*, vol. 21, Nov. 2015, doi: 10.1177/2156587215616550.
- [26] E. Da Silva, L. Faroni, F. Heleno, A. Rodrigues, L. Figueiredo, and M. Lopes, "Optimal Extraction of *Ocimum basilicum* Essential Oil by Association of Ultrasound and Hydrodistillation and Its Potential as a Biopesticide Against a Major Stored Grains Pest," *Molecules*, vol. 25, Jun. 2020, doi: 10.3390/molecules25122781.
- [27] O. Toncer, E. Diraz, and S. Tansi, "Essential oil composition of *Ocimum basilicum* L. at different phenological stages in semi-arid environmental conditions," *Fresenius Environ. Bull.*, vol. 26, pp. 5441-5446, Jan. 2017.
- [28] H. R. Nadeem et al., "Antioxidant Effect of *Ocimum basilicum* Essential Oil and Its Effect on Cooking Qualities of Supplemented Chicken Nuggets," *Antioxidants*, vol. 11, no. 10. 2022, doi: 10.3390/antiox11101882.
- [29] A. O. Tursun, "Impact of soil types on chemical composition of essential oil of purple basil," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 29, no. 7, p. 103314, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103314>.
- [30] J. Bufalo, C. L. Cantrell, T. Astatkie, V. D. Zheljzkov, A. Gawde, and C. S. F. Boaro, "Organic versus conventional fertilization effects on sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) growth in a greenhouse system," *Ind. Crops Prod.*, vol. 74, pp. 249-254, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.04.032>.
- [31] B. M. Lawrence, B. D. Mookherjee, and B. J. Willis, *Flavors and fragrances: a world perspective: proceedings of the 10th International Congress of Essential Oils, Fragrances, and Flavors*, Washington, DC, U.S.A., 16-20 November 1986. Amsterdam SE -: Elsevier Amsterdam, 1988.
- [32] T. Koutsos, P. Chatzopoulou, and S. Katsiotis, "Effects of individual selection on agronomical and morphological traits and essential oil of a 'Greek basil' population," *Euphytica*, vol. 170, pp. 365-370, Dec. 2009, doi: 10.1007/s10681-009-0012-7.