

EVALUACIÓN PRELIMINAR DE SISTEMAS ACUAPÓNICOS E HIDROPÓNICOS EN CAMA FLOTANTE PARA EL CULTIVO DE ORÉGANO (*Origanum vulgare*: LAMIACEAE)

Fecha de recepción: 11 de octubre de 2011 • Fecha de aceptación: 18 de noviembre de 2011

PRELIMINARY ASSESSMENT OF AQUAPONIC AND HYDROPONIC SYSTEMS IN RAFT FOR GROWING OREGANO (*Origanum vulgare*: LAMIACEAE)

Laura M. Ramírez Sánchez¹ • María Mercedes Pérez Trujillo² • Pedro Jiménez²
Hernán Hurtado Giraldo² • Edwin Gómez Ramírez^{3,4}

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el crecimiento y parámetros productivos del orégano en sistemas acuapónicos e hidropónicos a modo de cama flotante, así mismo el crecimiento y parámetros productivos de la carpa común en sistemas acuapónicos. Cada sistema acuapónico de 120L estaba compuesto por un tanque de peces, un biofiltro y una cama de plantas. Los sistemas hidropónicos eran similares a la cama de plantas y se mantuvieron con una solución nutritiva Hoagland No. 2 la cual se cambiaba mensualmente. En los sistemas acuapónicos inicialmente se ajustó la biomasa de peces a 25 g/sistema. Se alimentaron tres veces al día con Truchina[®] al 45% ajustada al 10% de la biomasa total, durante todo el experimento. Quincenalmente a los peces se les registró el peso, longitud total y estándar, y al final de cada cosecha se estimaron los parámetros productivos. Se sembraron y evaluaron dos cosechas de orégano (Cosecha 1 y 2) para cada sistema. Al inicio de cada cosecha de orégano, del mismo lote de plantas que se iban a sembrar se tomaban 8 plantas a las cuales se les registró el peso fresco y seco de la región aérea y radicular. Tanto en los sistemas acuapónicos como hidropónicos se sembraron 8 plantas/sistema a las cuales se les siguió el crecimiento en altura, se registró el peso seco y fresco final de las estructuras aéreas y radiculares, y se determinaron algunos parámetros productivos. Se llevó un registro fotográfico con el fin de establecer deficiencias nutricionales de las plantas de orégano. Tres veces por semana se midió pH y semanalmente temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitrito, nitrato, dureza general y dureza de carbonatos. Al final de la segunda cosecha se tomó una muestra de los sistemas acuapónicos e hidropónicos para el análisis de la solución nutritiva. No hubo diferencias significativas

1 Bióloga, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada.

2 Docente Investigador, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada.

3 Biólogo, Especialista en Acuicultura, Asistente de Investigación Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Militar Nueva Granada.

4 Autor para correspondencia: edwin.gomez@unimilitar.edu.co

en el crecimiento en altura de las plantas de orégano. Las plantas en los sistemas acuapónicos presentaron mejores parámetros de productividad que los sistemas hidropónicos: la primera cosecha de acuapónicos fue mejor que la segunda. Así mismo, el orégano de los sistemas acuapónicos obtuvo un mayor peso fresco y seco en las estructuras aéreas y radicales. Las plantas de ambos sistemas presentaron deficiencias en P y Fe, adicionalmente los acuapónicos mostraron deficiencia en Mg y B. Los peces presentaron un lento crecimiento e inadecuados parámetros productivos, pero buenos porcentajes de sobrevivencia. Los factores que afectaron el adecuado crecimiento de los peces fueron las considerables fluctuaciones de temperatura y la concentración de amonio al inicio de cada cosecha. Los sistemas acuapónicos en cama flotante mostraron ser mejores en cuanto a parámetros productivos, peso fresco y seco en comparación con los sistemas hidropónicos.

Palabras clave: Acuaponía, Hidroponía, Acuicultura sostenible, plantas aromáticas.

ABSTRACT

In this work both oreganum growth and productive parameters were evaluated in raft aquaponic and hydroponic systems, as well as common carp growth and productive parameters in aquaponic systems. Each aquaponic system was made of a 120L fish tank, a biofilter and a plant bed. Hydroponic systems were similar to plant beds, and were maintained with a nutritive Hoagland No. 2 solution, that was monthly changed. In aquaponic systems biomass was initially adjusted to 25g/system. Fishes were feed three times a day with 45% Truchina® adjusted to 10% of total biomass. Every 15 days, fish weight, total length and standard length were obtained, and at the end of each harvest productive parameters were calculated. Two oreganum harvests (harvest 1 and 2) were evaluated for each system. At the beginning of each harvest, from the same batch of plants used for the experiment, 8 plants were taken and fresh and dry weight were obtained for aerial and radicular regions. In both aquaponic and hydroponic systems, 8 plants/system were seeded, and followed for growth (length). Final dry and fresh weights were obtained as well as productive parameters. Photographic images were taken in order to establish oreganum nutritional deficiencies. Three times/week pH values were taken, and weekly values of temperature, dissolved oxygen, ammonia, nitrite, nitrate, total and carbonate hardness were obtained. At the end of the second harvest a water sample of aquaponic and hydroponic systems were sent for chemical analysis of the nutrient solution. No significant differences were observed in growth of oreganum plants. Aquaponic plants did exhibit better productive parameters than hydroponic ones. Aquaponic oreganum did present larger dry and fresh weight in aerial and radicular structures. In both systems plants did present P and Fe deficiencies. Aquaponic oreganum did show deficiencies in Mg and B. Fish growth was slow with low productive parameters, but good survival percentages. Main factors for poor fish growth were temperature changes, and ammonia level at the beginning of each harvest. Aquaponic raft systems were better in terms of productive parameters, dry and fresh weight, than hydroponic systems.

Key words: Aquaponic, Hydroponic, Sustainable aquaculture, Aromatic plants.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la conservación y reutilización del agua se han convertido en una prioridad tanto en la agricultura como en la acuicultura. La preocupación por el aumento en la demanda de agua, en disminuir el impacto ambiental negativo y el deseo de aumentar la eficiencia en la producción continúa impulsando los avances en la tecnología y en las buenas prácticas de producción. Varias estrategias están siendo desarrolladas para mejorar estos problemas, y una de ellas es la acuaponía (Nelson, 2007; Nelson, 2008).

Los sistemas acuapónicos son la combinación de la acuicultura (cultivo de plantas y animales acuáticos) con sistemas hidropónicos (cultivo de plantas en soluciones nutritivas con o sin sustrato) en sistemas cerrados de recirculación de agua (Diver, 2006; Rakocy et al, 2006; Nelson, 2007). En los sistemas acuapónicos los desechos producidos por un organismo acuático (generalmente peces) son transformados por bacterias nitrificantes en productos menos tóxicos como el nitrato, el cual sirve como nutriente para las plantas (McMurtry et al, 1997; Nelson, 2007; Al-Hafedh et al, 2008; Ramírez et al, 2009). Estas últimas contribuyen a la eliminación de los productos nitrogenados y los fosfatos los cuales son los principales contaminantes de los efluentes en la acuicultura (McMurtry et al, 1997), y adicionalmente generan una ganancia económica adicional (Ramírez et al, 2009).

Por lo anterior, se puede decir que los sistemas acuapónicos presentan varias ventajas entre las que se destacan:

- Se genera una producción integrada de peces y plantas puesto que los productos de desechos de los peces sirven como nutrientes para las plantas.
- Se aumenta la producción local de alimentos y se producen alimentos más saludables debido a que no se aplican pesticidas ni herbicidas.

- Se incrementa la economía local al eliminar el costo y el tiempo involucrados con las mezclas de nutrientes en los cultivos hidropónicos.

- Al eliminar el suelo para la producción vegetal se descartan la mayoría de las enfermedades transmitidas por el mismo.

- El agua es re-utilizada a través de filtración biológica y la recirculación, por lo que estos sistemas utilizan solo una fracción del agua (1-5%) de la utilizada tradicionalmente en la agricultura en campo abierto, pues el agua no es desechada ni tomada por las malas hierbas.

- Utiliza el 1% del agua invertida en piscicultura en un cultivo en estanque de tierra.

- La densidad de siembra tanto en plantas como en peces es elevada lo que genera una mayor rentabilidad por uso de espacio (Adler et al, 2000; Rakocy et al, 2006).

En los sistemas acuapónicos se han evaluado una amplia variedad de plantas y organismos acuáticos (Rackocy et al, 2006; Nelson, 2006; Nelson 2008; Ramírez et al, 2009). En este proyecto se optó por carpa común (*Cyprinus carpio*) y orégano (*Oreganum vulgare*) por varias razones. Por una parte, la actual demanda de hierbas aromáticas de los mercados internacionales, donde Colombia ha resalta-do la importancia en la producción de plantas como la salvia, el tomillo, la menta, el romero y el orégano situándolas dentro del grupo de los productos hortícolas más promisorios para exportación de acuerdo con el Plan Hortícola Nacional 2015 (Plan Hortícola Nacional, 2006). Además, la producción en Colombia se debe orientar hacia la implementación de un sistema intensivo de explotación con calidad de exportación y enmarcado dentro de las normas internacionales de certificación (Plan Hortícola Nacional, 2006) y en este sentido los sistemas acuapónicos pueden cumplir estas exigencias.

Por otro lado, la carpa común (*C. carpio*) es una especie muy tolerante y resistente a cambios en calidad de agua y tiene una amplia tolerancia ambiental (Britton et al, 2007), además presenta un

régimen alimenticio omnívoro (detritófago), una amplia capacidad reproductiva (Graeff y Pruner, 2000) y su carne presenta un alto valor nutritivo para el consumo humano (Dirección de Acuicultura, 2010).

Aunque la acuaponía es un sistema de producción con más de cuatro décadas (Al-Hafedh et al, 2008), en el país esta tecnología es prácticamente desconocida. Sin embargo, el grupo de Ictiología de la Universidad Militar Nueva Granada ha adelantado varias investigaciones en el diseño e implementación de sistemas cerrados de recirculación de agua y una variante de ellos los sistemas acuapónicos con la particularidad de que son diseñados a mínimo costo (Leal et al, 2007; Ramírez et al, 2009; Hernández et al, 2010). Por tal motivo, se plantea evaluar el crecimiento y parámetros productivos del orégano en sistemas acuapónicos e hidropónicos en cama flotante. Por otro lado, determinar el crecimiento y parámetros productivos de la carpa común en los sistemas acuapónicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en el laboratorio de acuaponía del grupo de Ictiología de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Militar Nueva Granada, sede Río Grande ubicada a 2640 msnm con una temperatura promedio anual de 12.9 °C (Datos Estación Climática de la Universidad Militar Nueva Granada).

Diseños de los sistemas acuapónicos e hidropónicos a pequeña escala

Los sistemas acuapónicos estaban constituidos por tres componentes principalmente: tanque de peces, cama de plantas y biofiltro. El tanque de peces era un acuario de 80 L, el cual estaba conectado al biofiltro por medio de una bomba de agua sumergible de 700 L/h. Un recipiente cilíndrico funcionaba

como biofiltro, contenía seis bolsas de malla plástica llenas con bolas de icopor (3 mm aproximadamente) las cuales servían para el establecimiento de las bacterias nitrificantes. El biofiltro estaba conectado a la cama de plantas por un tubo de ½", la cama de plantas tenía un volumen 40 L y un área superficial de 0.25 m² conectada por una manguera de ½" al tanque de peces. Las plantas eran sembradas en una lámina de icopor de 2 cm de espesor a modo de camas flotantes (Figura 1). Tanto el tanque de peces como la cama de plantas tenían sistemas de aireación continua por medio de mangueras difusoras (30 cm) conectadas a una turbina de aire de ½ HP. Todos los componentes del sistema acuapónico estaban cubiertos con superficies oscuras con el fin de evitar el crecimiento de algas.



Figura 1. Diseño de los sistemas acuapónicos a pequeña escala. A: tanque de peces, B: biofiltro y C: cama de plantas.

Los sistemas hidropónicos eran recipientes similares a las camas de plantas de los sistemas acuapónicos y fueron mantenidos con una solución nutritiva de Hoagland 2 la cual era recambiada cada mes. Estos sistemas estaban provistos de aireación constante por medio de mangueras de aireación.

Compuesto	Cantidad
Nitrato de Potasio (KNO ₃)	24,71 g
Nitrato de Calcio (Ca(NO ₃) ₂)	33,68 g
Fosfato Monoamónico (MAP)	4,59 g
Molibdato de Amónio (NH ₄) ₂ MoO ₄)	0,00074 g
Sulfato de Magnesio (MgSO ₄)	19,6
Bórax (Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O)	0,18 g
Quelato de Manganeso	0,22 g
Quelato de Zinc	0,022 g
Quelato de Cobre	0,0088 g
Quelato de Hierro	0,22 g

Tabla 1. Solución Nutritiva Hoagland No. 2 para 40 L (Adaptado de Salisbury y Ross, 2000).

Una declinación en el pH es típica en sistemas de recirculación y sistemas acuapónicos debido al proceso de nitrificación, por lo tanto es necesario añadir hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) e hidróxido de potasio (KOH) para evitar una disminución considerable del pH (Harmon, 2003; Rakocy, 2007). Por otro lado, es bien conocido que los sistemas acuapónicos son deficientes en Fe por lo que debe adicionarse este elemento en forma quelatada (Rakocy et al., 2004; Rakocy et al., 2006).

Por lo anteriormente expuesto, en la primera cosecha los sistemas acuapónicos se suplementaron con quelatos de Fe (1,2 g/sistema) e hidróxido de potasio (KOH) intercalándose semanalmente, mientras que para la segunda cosecha se adicionó quelato de Fe, hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido

de calcio (Ca(OH)₂) intercalándose semanalmente. En cuanto a los hidróxidos no hubo una cantidad específica de aplicación ya que la cantidad dependía del grado de disminución del pH el cual se trató de ajustar entre 6,5-7,0 (Rakocy 2007).

Condiciones experimentales

Los peces fueron adquiridos en una tienda especializada y se mantuvieron en adaptación durante 15 días en sistemas cerrados de recirculación de agua de 250 L (Carrascal, 2010), transcurrido este tiempo fueron colocados en los sistemas acuapónicos. Inicialmente se ajustó la biomasa a 25 g por sistema acuapónico teniendo aproximadamente 13 peces/sistema con un peso 1.91±0.44 g. Para la segunda cosecha se utilizó el mismo grupo de peces. Cuando un pez moría era remplazado por otro individuo de peso similar esto con el fin de mantener homogénea la biomasa y la concentración de nitrógeno en los sistemas. Quincenalmente se muestreaban todos los individuos de cada sistema y se les registraba la longitud total, longitud estándar y peso. Los peces fueron alimentados tres veces al día con alimento comercial Truchina® al 45% de proteína, ajustada al 10% de la biomasa total.

En esta investigación se evaluaron dos cosechas totales de orégano (*Origanum vulgare*) en sistemas acuapónicos e hidropónicos. Se manejaron seis sistemas acuapónicos y dos sistemas hidropónicos con ocho plantas cada uno. Las plantas fueron obtenidas por medio de enraizamiento de esquejes de plantas madres del Laboratorio de Horticultura de la Universidad Militar Nueva Granada. La primera cosecha total, se realizó a las ocho semanas de haber iniciado el experimento y consistió en cortar la totalidad de hojas y tallos de cada planta. Posteriormente se sembraron ocho nuevas plantas por sistema, obtenidas de la misma forma que las anteriores y se cosecharon en el mismo tiempo en que se realizó la primera cosecha.

Semanalmente se tomaron medidas de altura de las plantas de cada sistema acuapónico e hidropónico.

Al momento de la siembra de las plantas en los sistemas del mismo lote de plantas que se iban a sembrar se tomaban ocho plantas de manera aleatoria y se registró el peso fresco de la parte aérea (hojas y tallo) y la parte radicular (raíz), así mismo estas plantas eran secadas en un horno Memmert® a 72°C durante 24 horas, posteriormente se registraba el peso seco de las mismas estructuras en una balanza Vibra AJ .En el momento de la cosecha de las plantas se realizó el mismo procedimiento antes descrito para obtener el peso seco y fresco individual.

Parámetros productivos de peces y plantas

Se evaluó el desempeño productivo tanto de los peces (Tabla 2) y las plantas (Tabla 3) considerando las siguientes variables:

Parámetro productivo	Fórmula
Factor de Conversión Alimenticia (Salazar y Ocampo, 2002).	FCA = total alimento consumido / biomasa final
Tasa de Crecimiento Absoluto (Pineda, 1999; Salazar y Ocampo, 2002).	TCA= (peso final – peso inicial)/(tiempo final – tiempo inicial)
Ganancia de Peso (Mercado et al, 2006).	GP = peso final – peso inicial
Supervivencia (Salazar y Ocampo, 2002; Mercado et al, 2006)	S = (número de peces final/número de peces inicial)* 100

Tabla 2. Parámetros productivos estimados para carpa común (*C. carpio*).

Parámetros productivos	Formulas
Tasa de Crecimiento del Cultivo (Gómez et al, 2004)	$TCC \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1} = (1/AT) * (PS_2 - PS_1 / T_2 - T_1)$
Tasa de Crecimiento Relativo (Gómez et al, 2004)	$TCR \text{ g}\cdot\text{día}^{-1} = (\ln PS_2 - \ln PS_1) / (T_2 - T_1)$
Tasa de Crecimiento Absoluto (Gómez et al, 2004)	$TCA \text{ g}\cdot\text{día}^{-1} = (PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)$

Tabla 3. Parámetros productivos estimados para las plantas de orégano (*O. vulgare*).

Parámetros de calidad de agua y análisis de nutrientes

En este experimento el seguimiento de variables fisicoquímicas se realizó semanalmente para: temperatura (Hanna® HI 991001), oxígeno disuelto (OD), amonio (NH₄), nitrito (NO₂), dureza general (GH), (Kit Hach® Model FF-1A), nitrato (NO₃) y dureza de carbonatos (KH) (Tetra test®). El pH (Hanna® HI 991001) se midió tres veces a la semana con el fin de evitar disminuciones considerables en este parámetro.

Al final de la segunda cosecha se realizó un análisis de la solución nutritiva de los sistemas acuapónicos e hidropónicos, tomando volúmenes iguales de los 6 sistemas acuapónicos (100 ml/sistema) y de los 2 sistemas hidropónicos (300 ml/sistema).

Identificación de deficiencias nutricionales

Durante el transcurso del experimento se realizó un registro fotográfico semanal y se determinaron los síntomas de deficiencias de las plantas de orégano. Se utilizaron como parámetros de deficiencia lo reportado por Dell et al. (1995) y Barbazán (1998).

Análisis de datos

Para cada una de las cosechas se realizó una prueba de F para establecer homogeneidad de varianzas y después una prueba de T, y de esta manera determinar diferencias entre los tratamientos (sistemas acuapónicos e hidropónicos) en las siguientes variables respuesta: altura de las plantas de orégano, peso fresco y seco final de la parte aérea y radicular de las plantas de orégano. Se consideraron diferencias significativas con una $P > 0.05$.

Por otro lado, se realizó un análisis descriptivo expresado como el valor promedio y desviación estándar del crecimiento de los peces (peso, longitud total y estándar) en los sistemas acuapónicos durante todo el experimento. El mismo procedimiento se realizó para el crecimiento en altura de las plantas en los sistemas acuapónicos e hidropónicos para cada una de las cosechas evaluadas, de esta manera se determinaba la dinámica de comportamiento asociada a cada variable. Se empleó el paquete estadístico R versión 2.7.1. De libre distribución en Internet (www.r-project.org)

Resultados

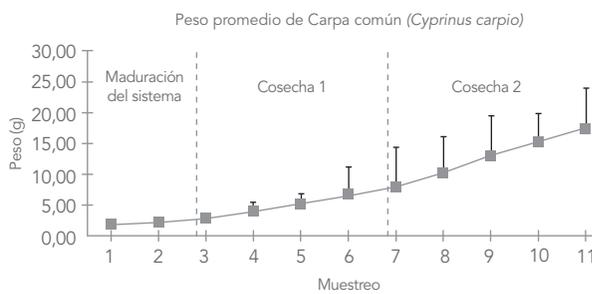


Figura 2. Peso promedio de carpa común (*C. carpio*). Cada punto representa el valor promedio \pm la desviación estándar. Muestreo quincenal.

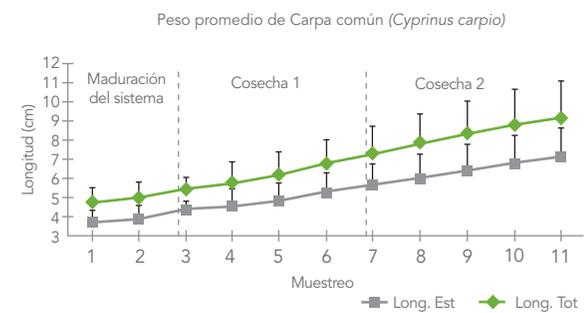


Figura 3. Longitud total y estándar promedio de carpa común (*C. carpio*). Cada valor representa el valor promedio \pm la desviación estándar. Long. Est: longitud estándar, Long. Tot: Longitud total

Parámetro	Cosecha 1	Cosecha 2
FCA	7,00 \pm 0,72	8,03 \pm 1,23
TCA (g/día)	0,06 \pm 0,01	0,16 \pm 0,04
GP (g) por sistema	71,03 \pm 11,18	96,29 \pm 23,02
Sobrevivencia (%)	69,23 \pm 10,50	92,31 \pm 5,20

Tabla 4. Parámetros productivos para carpa (*C. carpio*) en los sistemas acuapónicos para cada una de las dos cosechas de orégano.

Parámetros de crecimiento y productivos de orégano (*O. vulgare*) en los sistemas acuapónicos e hidropónicos.

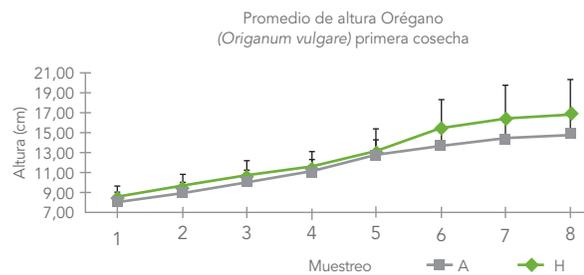


Figura 4. Altura promedio de plantas de orégano (*O. vulgare*) en los sistemas acuapónicos e hidropónicos en la primera cosecha. A: sistemas acuapónicos y H: sistemas hidropónicos. Cada punto representa el valor promedio \pm la desviación estándar. Muestreo semanal.

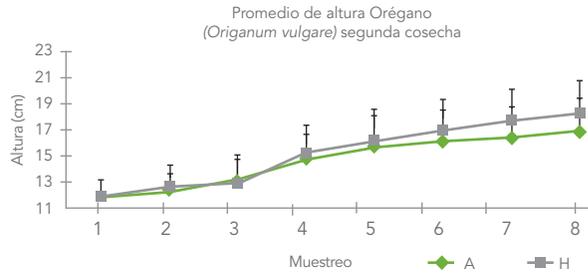


Figura 5. Altura promedio de plantas de orégano (*O. vulgare*) en los sistemas acuapónicos e hidropónicos en la segunda cosecha. A: sistemas acuapónicos y H: sistemas hidropónicos. Cada punto representa el valor promedio \pm la desviación estándar. Muestreo semanal.

	Cosecha 1		Cosecha 2	
	Acuapónico	Hidropónico	Acuapónico	Hidropónico
No de plantas/sistema	8		8	
Tiempo de experimentación semanas	8		8	
Peso fresco inicial parte aérea/sistema (g)	1,07 \pm 0,28		1,32 \pm 0,29	
Peso seco inicial parte aérea/sistema (g)	0,13 \pm 0,02		0,12	
Peso fresco inicial parte radicular/sistema (g)	0,91 \pm 0,42		1,16 \pm 0,49	
Peso seco inicial parte radicular/sistema (g)	0,04 \pm 0,03		0,05	
Peso fresco final parte aérea/sistema (g)	107,04 \pm 64,5 ^a	20,22 \pm 0,32 ^b	48,83 \pm 21,06 ^a	11,9 \pm 6,08 ^b
Peso seco final parte aérea/sistema (g)	15,42 \pm 8,45 ^a	6,65 \pm 1,48 ^b	9,82 \pm 3,64 ^a	2,85 \pm 1,34 ^b
Peso fresco final parte radicular/sistema (g)	121,98 \pm 54,14 ^a	24,09 \pm 12,82 ^b	52,03 \pm 24,6 ^a	17,05 \pm 4,74 ^b
Peso seco final parte radicular/sistema (g)	7,08 \pm 3,25 ^a	2,55 \pm 0,64 ^b	4,07 \pm 2,08 ^a	1,2 \pm 0,28 ^b

Tabla 5. Biomasa fresca y seca, aérea y radicular, en las dos cosechas de orégano (*O. vulgare*) en los sistemas acuapónicos e hidropónicos. Letras diferentes dentro de la misma fila representan diferencias significativas ($P > 0.05$).

Parámetro productivo	Primera Cosecha		Segunda Cosecha	
	Acuapónicos	Hidropónicos	Acuapónicos	Hidropónicos
TCC g·m ⁻² ·día ⁻¹	0,99	0,40	0,54	0,10
TCR g·m ⁻²	0,05	0,04	0,02	0,009
TCA g·m ⁻²	0,25	0,10	0,14	0,026

Tabla 6. Parámetros productivos en las dos cosechas de orégano (*O. vulgare*) en los sistemas acuapónicos e hidropónicos.

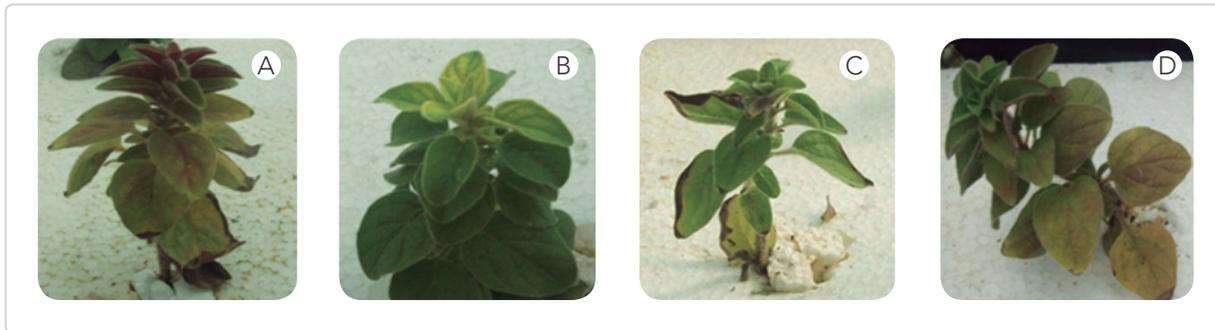


Figura 6. Síntomas de deficiencia presentadas por las plantas de orégano (*O. vulgare*). A: Envés de hojas y nervaduras de color morado, presumible deficiencia de P. B: Clorosis intervenal en las hojas nuevas, presumible deficiencia en hierro. C: Ápice y márgenes de las hojas necróticos, presumible deficiencia de boro. D: Clorosis en hojas maduras, presumible deficiencia en magnesio.

Muestreos (semanales)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NH ₃	1,8 ± 0,4	-	0,5 ± 0,1	0,1	0,8 ± 0,5	1,7 ± 2,6	0,8 ± 0,7	0,3 ± 0,6	1 ± 1,22	0,3 ± 0,6	1,3 ± 0,6	-	2,3 ± 1,7
NO ₂	1,3 ± 0,4	1,5 ± 1,0	0,5 ± 0,3	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	-	0,5 ± 0,3	0,2 ± 0,2	0,1	0,2 ± 0,2	0,1 ± 0,1	0,1	0,4 ± 0,3
NO ₃	35,5 ± 16,5	66,7 ± 37,6	22,9 ± 5,1	33,3 ± 12,9	66,7 ± 8,2	70 ± 11	76,7 ± 8,2	73,3 ± 10,3	76,7 ± 8,2	70 ± 16,7	120 ± 31	140	140
Dureza	51,3	51,3	51	51,3	65,6 ± 7,0	68	85,5	102,6	102,6	88,4 ± 7,0	94,1 ± 9,4	102,6	102,6
O ₂	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6
pH	7,2 ± 0,2	5,8 ± 0,3	7,5 ± 0,2	6,6 ± 0,2	6,4 ± 0,6	6,5 ± 0,6	6,6	6,18 ± 0,9	5,4 ± 1,0	6,6 ± 0,5	6,2 ± 0,7	5,8 ± 0,7	6,3 ± 0,1
T°C	25	22 ± 0,8	21,2 ± 0,6	18,8 ± 0,4	22,0 ± 0,5	23,1 ± 0,9	18,8	15,5 ± 0,4	18,7 ± 0,5	18,5 ± 0,34	18,8 ± 0,5	21,5 ± 0,6	20,2 ± 0,3
T°C mínima	14	12	14	13	12	12	13	12	12	13	13	13	12

Tabla 7. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos del agua desde el inicio del experimento hasta la primera cosecha del orégano en los sistemas acuapónicos. Cuadros grises (1-5) representan los parámetros fisicoquímicos durante la maduración del sistema. Con excepción de la temperatura grados Celcius (°C) y el pH (unidades de pH) el resto de los parámetros están expresados en partes por millón (ppm). Dureza total (GH) y dureza de carbonatos (KH).

Muestras (semanales)							
	1	2	3	4	5	6	7
NH ₃	2,92 ± 1,96	3,08 ± 1,11	2,17 ± 2,36	1,25	0,75 ± 0,82	2,00 ± 1,22	2,83 ± 1,29
NO ₂	0,38 ± 0,20	0,77 ± 0,48	0,38 ± 0,20	0,38 ± 0,20	0,30	0,15 ± 0,08	0,50 ± 0,26
NO ₃	110 ± 28	136,67 ± 29,44	143,33 ± 40,82	146,67 ± 32,66	130,00	146,67 ± 20,66	120 ± 30,98
GH	102,60	102,60	102,60	136,80	113,08 ± 16,21	133,95 ± 6,98	122,55 ± 6,98
O ₂	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
pH	5,45 ± 0,45	6,37 ± 0,64	5,73 ± 0,57	5,33 ± 0,82	5,99 ± 0,80	5,09 ± 0,68	7,10 ± 0,18
T°C	19,37 ± 0,64	19,90 ± 0,40	23,73 ± 0,77	18,02 ± 0,46	16,53 ± 0,19	19,03 ± 0,43	19,07 ± 0,34
Ca	-	-	-	33,33 ± 10,33	40,00	40,00	40,00
PO ₄	-	-	-	5,00	5,00	5,00	5,00
Fe	-	-	-	0,00	0,38 ± 0,14	0,33 ± 0,26	0,38 ± 0,14
KH	-	-	-	5,00	5,00	5,00	4,00 ± 0,41

Tabla 8. Valores promedio de parámetros fisicoquímicos del agua durante la segunda cosecha del orégano. Con excepción de la temperatura grados Celcius (°C) y el pH (unidades de pH) el resto de los parámetros están expresados en partes por millón (ppm). Dureza total (GH) y dureza de carbonatos (KH).

Parámetros fisicoquímicos								
Sistema	N-NO ₃	N-NH ₄	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CE dS/m
Hidropónico	226.24	2.94	50.40	26.45	298.33	198.40	62.87	2.35
Acuapónico	16.80	3.22	6.50	28.98	27.76	29.86	4.38	0.40
	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	pH	
Hidropónico	90.89	0.10	0.45	0.32	0.06	0.59	5.70	
Acuapónico	21.00	0.28	0.03	0.12	0	0.10	6.90	

Tabla 9. Análisis químico de la solución nutritiva de los sistemas hidropónicos y acuapónicos tomados al final de la segunda cosecha.

DISCUSIÓN

El crecimiento (peso, longitud total y estándar) presentado por las carpas (*C. carpio*) fue lento especialmente en la segunda cosecha, lo cual también se evidencia en los parámetros productivos (FCA, TCA y GP) los cuales no tuvieron un buen desempeño a excepción de la sobrevivencia. Esto pudo ser debido al efecto sinérgico de varios factores: temperatura del agua, concentración de amonio y edad de los peces.

Los sistemas acuapónicos tenían un volumen aproximado de 120 L por lo que la temperatura del agua oscilaba de manera considerable durante el día (12 °C - 35 °C). Los peces al ser organismos ectotérmicos, su metabolismo está estrechamente relacionado con la temperatura, generando cambios metabólicos que se reflejan en la cantidad de alimento consumido, crecimiento y locomoción (Pang et al, 2011).

Otro de los factores que pudo haber influenciado el bajo crecimiento de los peces fue la concentración de amonio, la cual permaneció durante algunas semanas fuera del rango de tolerancia de la especie (Meade, 1985; Piper et al, 1982; Lawson 1995. En: Timmons y Ebeling, 2007) siendo esta condición más notoria durante la segunda cosecha. Esta situación puede ser explicada a partir de la ausencia y en algunos casos baja concentración de carbonatos en los sistemas acuapónicos. La alcalinidad es una medida de la cantidad de carbonatos en una solución y en sistemas de recirculación se recomienda alcalinidades entre 100-150 ppm (Timmons y Ebeling, 2007), pues en estas concentraciones se aumenta la capacidad buffer del agua y se proporcionan carbonatos los cuales son indispensables en los procesos de nitrificación bacteriana (Losordo et al, 1998; Hutchinson et al, 2004). Sin embargo, y como recomienda Rakocy (2007) en esta investigación se utilizaron hidróxidos para aumentar el pH; en la primera cosecha se uso KOH y en la segunda cosecha KOH y $\text{Ca}(\text{OH})_2$

de manera intercalada, por lo cual los sistemas acuapónicos fueron deficientes en carbonatos generando altos niveles de amonio en las primeras semanas. Adicionalmente el pH fue bajo especialmente durante la segunda cosecha lo cual ocasionaba unas menores tasas de nitrificación, pues se ha reportado que las bacterias nitrificantes aumentan sus procesos de nitrificación en pH básicos 7.5-8 (Rakocy et al, 2006). Es importante mencionar que las concentraciones de nitritos y nitratos estuvieron dentro de los rangos de tolerancia reportados para la carpa (Meade, 1985; Piper et al, 1982; Lawson, 1995. En: Timmons y Ebeling, 2007) por lo que se descarta que estos productos nitrogenados hayan generado un efecto adverso en el crecimiento de los peces.

Los cambios de temperatura y las concentraciones relativamente altas de amonio pudieron haber generado estrés en los peces provocando cambios metabólicos (osmoregulación e inmunosupresión) que se reflejan un lento crecimiento, susceptibilidad a enfermedades e incapacidad de respuesta ante nuevas situaciones de estrés (Flores, 2002). Otro factor que explica las diferencias de crecimiento de los peces entre las dos cosechas evaluadas es la edad y el tamaño corporal de los peces. En este estudio se mantuvo el mismo lote de peces, por lo cual es entendible que los peces de la primera cosecha quienes eran de menor edad y tamaño presentarán mayores tasas metabólicas y de crecimiento (Rincón, 2009).

Con respecto al desempeño productivo del orégano en los sistemas acuapónicos e hidropónicos no se encontraron diferencias significativas en cuanto a crecimiento en altura de las plantas de orégano, ya que los dos tipos de sistemas produjeron plantas con longitud de tallo principal tipo exportación mayor de 8cm (Plan Hortícola Nacional, 2006). Sin embargo, utilizar solo este parámetro como único indicador de productividad no es apropiado pues en el trabajo realizado por Suarez

y Morales (2009) encontraron que incluso el tratamiento que solo se le suministraba agua a las plantas de orégano en condiciones de sustrato contenido (materas) éstas alcanzaron longitudes alrededor de los 10cm.

En cuanto a las variables peso fresco y seco tanto de la parte aérea como la radicular al momento de la cosecha, fue mejor el sistema acuapónico en comparación con el hidropónico para las dos cosechas evaluadas, de igual manera ocurrió para los parámetros productivos (TCC, TCR y TCA). No obstante, al observar en más detalle estas variables se encuentra que fue mejor la primera cosecha de los sistemas acuapónicos con respecto a la segunda. Para explicar estos resultados se analizarán en detalle los requerimientos y deficiencias nutricionales de las plantas, los parámetros de calidad de agua y la dinámica de nutrientes presentadas en los sistemas.

Los sistemas hidropónicos fueron mantenidos con la solución nutritiva Hoagland No. 2, la cual había mostrado ser adecuada para las plantas de orégano en cultivo en materas (Suarez y Morales, 2009; Delgado y Padilla, 2010). La compañía Assured Produce Ltd (2002) determinaron los requerimientos nutricionales del orégano para los siguientes macroelementos: N 93.75 ppm, P 25.05 ppm y K 51.88 ppm, los cuales estaban ampliamente cubiertos por la solución nutritiva Hoagland No. 2 (N 226.24, P 50.40 y K 298.33 ppm). Por el contrario los sistemas acuapónicos de la segunda cosecha presentaron bajas concentraciones de estos macroelementos (N 16.80, P 6.50 y K 27.76 ppm). Las concentraciones encontradas en los sistemas acuapónicos son aceptables, pues en estos sistemas los nutrientes son producidos diariamente por la excreción de los peces o son generados por los procesos de transformación bacteriana (Rakocy et al, 2004). Es importante aclarar que los sistemas acuapónicos usualmente no poseen biofiltro, pues las plantas aumentan la remoción de productos

nitrogenados, además algunos de ellos cuentan con mineralizadores que permiten la transformación de la materia orgánica en nutrientes disponibles para las plantas (Rakocy, 2007). Sin embargo, los sistemas acuapónicos diseñados en esta investigación poseían biofiltro, esto se hizo con el fin de aumentar la producción de nitrato, pues las plantas terrestres están adaptadas a tomar un mayor porcentaje de nitrógeno en esta forma (Tyson et al, 2004). Tyson et al. (2004) afirman que la proporción ideal Nitrato: Amonio en sistemas hidropónicos es 75:25, dicha proporción se mantuvo más apropiada en los sistemas acuapónicos lo cual garantizaba una mayor disposición de nitrato para las plantas y un amonio que no afectaba la sobrevivencia de los peces. Según Rakocy et al. (2006) las concentraciones de nitrato presentadas en este estudio son apropiadas para promover el crecimiento de las plantas especialmente en su estado vegetativo.

El pH es un parámetro de calidad de agua determinante para la absorción de varios nutrientes por parte de la planta, el óptimo rango de pH donde se obtiene la mayor absorción de los macronutrientes N, P y K es entre 5-6 (Karimaei et al, 2004) y para sistemas hidropónicos entre 5.5 a 6.5 (Rakocy et al, 2004). Por lo anterior se puede inferir que los sistemas acuapónicos e hidropónicos estuvieron entre los rangos recomendados para permitir la mayor absorción de nutrientes.

Otro parámetro que se mantuvo en concentraciones óptimas fue el oxígeno disuelto (5-6 ppm). Nelson (2008) y Rakocy et al. (2006) afirman que es extremadamente importante mantener altos niveles de oxígeno disuelto 6-7 ppm (80% de saturación). El alto requerimiento de oxígeno en los sistemas acuapónicos es debido a varios factores. La respiración de los peces, las bacterias nitrificantes y la región radicular de las plantas, que sumado a las altas cargas orgánicas que se producen, consumen considerables concentraciones de oxígeno en sus procesos

de transformación química (Rakocy et al, 2006).

La conductividad eléctrica es un indicador indirecto de la concentración sales del agua y de los nutrientes en la solución nutritiva; también nos puede dar un indicio de la vida útil de la solución nutritiva en un sistema hidropónico y con qué periodicidad debe ser renovada (Gilsanz, 2007). La conductividad eléctrica óptima varía entre las especies de plantas y su estado fenológico, pero en hidroponía se recomienda alrededor de 1.5-1.8 dS/m (Nelson, 2008). A pesar de esto es común encontrar valores

mencionan que la temperatura óptima para el adecuado crecimiento de las plantas es de 23.8 °C (75°F), y temperaturas superiores a esta pueden ocasionar disminución del crecimiento y susceptibilidad a patógenos (Nelson 2007; Nelson, 2008). Aunque no se presentaron patógenos en las plantas quizás este factor influyó el crecimiento de las mismas. Dos soluciones podrían aplicarse a solucionar este problema; uno sería escalando los sistemas lo que aumentaría el volumen permitiendo mantener la temperatura del agua más homogénea y dos incorporar sistemas

Las concentraciones de nitratos (16.90 ppm), Mg (4.38 ppm), P (6.50 ppm) y Ca (27.76 ppm) de los sistemas acuapónicos estaban entre los rangos reportados como adecuados para el buen crecimiento de plantas de lechuga

bajos de conductividad en los sistemas acuapónicos: 0.3-0.8 dS/m (Nelson, 2008), 0.3-0,6 dS/m (Rakocy et al, 2004; Rakocy et al, 2006; Rakocy, 2007), 0.51-0.54 dS/m (Roosta y Hamidpour, 2011), lo anterior no indica que los sistemas sean pobres en nutrientes. Este fenómeno ha sido ampliamente discutido en la acuaponía y la explicación a esta diferencia es atribuida a dos factores principalmente: primero, los nutrientes en la acuaponía son generados constantemente (Rakocy, 2007) y segundo, por la naturaleza orgánica de los nutrientes se generan bajas concentraciones de sales y por ende bajos valores de conductividad (Nelson, 2008).

La temperatura del agua de un sistema acuapónico debe ser mantenida entre 21.1- 23.3 °C (70-74°F) (Nelson, 2008). Aunque Rakocy et al. (2006)

de calefacción (eléctrica, solar o gas) sin embargo aumentaría los costos de inversión.

Estudios realizados por el grupo de Horticultura de la Universidad Militar Nueva Granada analizando la composición química del tejido vegetal del orégano determinaron que esta planta presentaba mayores concentraciones en elementos como: N, Ca y K, de los cuales el que más sobresalía era el K (Henaó y Pedraza, 2006). Quizás esta es la principal razón por la cual la primera cosecha de orégano en los sistemas acuapónicos fue mejor, pues las correcciones de pH se realizaron únicamente con KOH mientras en la segunda cosecha se alternó KOH y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, por lo cual hubo mayor disponibilidad de K en la primera cosecha de orégano evidenciándose en una mayor productividad. El K es

importante en esta especie de planta debido a que los requerimientos de agua en el orégano son altos, por lo tanto la función del K en la apertura y cierre de estomas debe ser permanente (Marshner, 1995 En: Suarez y Morales 2009) y esto podría ser aun más relevante tratándose de sistemas hidropónicos y acuapónicos los cuales están en contacto con el agua.

Aunque gran parte de los parámetros fisicoquímicos estuvieron entre los rangos recomendados para los sistemas acuapónicos e hidropónicos, las plantas de orégano presentaron deficiencias en ambas cosechas. A partir de lo descrito por Dell (1995) y Barbazán (1998) ambos sistemas exhibieron deficiencias en P y Fe, adicionalmente los acuapónicos presentaron también deficiencias en B y Mg (Figura 6). Al comparar los resultados obtenidos en el análisis químico del agua (Tabla 9) con los rangos recomendados como adecuados por Nelson (2008), todos los elementos evaluados en los sistemas hidropónicos estaban dentro de estos rangos mientras que en los sistemas acuapónicos solo el amonio y el Boro. Esto era de esperarse pues los sistemas acuapónicos suelen ser deficientes en K, Ca, Fe (Rakocy et al, 2006, Rakocy, 2007; Nelson, 2007, Nelson, 2008) aunque otros autores reportan que también pueden presentar bajos niveles de P, Mn y S (Adler et al, 1996; Seawright et al, 1998; Graber and Junge, 2009 En: Roosta y Hamidpour, 2011) por lo que estos elementos deben ser suplementados a los sistemas.

Las concentraciones de nitratos (16.90 ppm), Mg (4.38 ppm), P (6.50 ppm) y Ca (27.76 ppm) de los sistemas acuapónicos estaban entre los rangos reportados como adecuados para el buen crecimiento de plantas de lechuga (nitrato: 14.9-35.6, Mg: 1.2-1.8; P: 3.0 y Ca: 7.3 ppm) (Rakocy, 2007). Aun así, las plantas de orégano presentaron deficiencias de Mg y P, lo anterior demuestra que las concentraciones reportadas como óptimas para una especie de planta no son necesariamente las mejores para otra especie y de allí la importancia

de definir los requerimientos nutricionales por especie de planta y estado fenológico.

Para obtener una buena calidad en las plantas de orégano es importante tener en cuenta todos los elementos, aunque se ha reportado la importancia de elementos como el N, Ca y Mg, principalmente en las etapas posteriores al corte (Marentes y Clavijo, 2006) y de allí la importancia de suplementar la planta con fertilizantes ricos en estos elementos (Marentes y Clavijo, 2006). Lo anterior ha sido comprobado por Dordas (2009) en cultivos de orégano, donde las plantas que fueron suplementadas con aplicaciones foliares con porcentajes altos de Ca (1%) y Mg (2%) se incrementaba la productividad en un 10%, aumentando el área foliar, el número de tallos por planta alrededor de un 23%, la materia seca un 22% y se disminuyó el tiempo para alcanzar la floración. Al parecer la aplicación de Ca(OH)_2 en los sistemas acuapónicos suministró el Ca necesario para las plantas de orégano, no obstante el Mg fue deficiente y no se adicionó una fuente de este elemento durante este estudio, por lo cual el Grupo de Ictiología ha implementado la aplicación de carbonato de Magnesio (MgCO_3) y carbonato de Calcio (CaCO_3), pues de esta manera se suministran estos dos elementos y al mismo tiempo se aumenta la cantidad de carbonatos, los cuales son de gran importancia para el adecuado funcionamiento de las bacterias nitrificantes (Timmons y Ebeling, 2007).

En cuanto a la deficiencia de Boro no es común encontrarla en los sistemas acuapónicos, lo cual puede ser debido a que los ingredientes que componen el alimento de los peces son escasos en este elemento por lo que no se acumula en los sistemas acuapónicos (Rakocy et al, 2006).

La deficiencia de Fe fue presentada tanto en los sistemas acuapónicos como en los hidropónicos. En los sistemas acuapónicos se trató de evitar esta deficiencia con la adición de quelato de Fe 1.2

g/120L (10 mg/L) cada dos semanas en la primera cosecha y cada tres semanas en la segunda, incluso esta concentración fue mucho mayor a la utilizada en otros sistemas acuapónicos donde se adiciona 2 mg/L cada tres semanas (Rakocy et al, 2004; Rakocy et al, 2006), lo cual indica la gran demanda de este elemento por parte del orégano, al menos en sus primeros meses de crecimiento vegetativo.

Por otro lado, la deficiencia de Fe de los sistemas hidropónicos quizás se debió a los altos contenidos de P, el cual reduce la solubilidad del Fe en la planta. Una relación promedio recomendada para la mayoría de las plantas es de P:Fe de 29:1, esta proporción fue mucho más alta hacia el P lo cual pudo haber dificultado la disponibilidad del Fe en estos sistemas (Suarez y Morales, 2009).

Al estimar la productividad de los sistemas acuapónicos de este estudio se encuentra que es de alrededor de 107,04 g/sistema para la primera cosecha y de 48,83 g/sistema para la segunda, en un área de cultivo de 0.25 m². Por lo tanto estaríamos hablando de una productividad aproximada de 428,6 g/m² y 195,32 g/m² respectivamente. Esta productividad podría ser mejorada si las camas flotantes de los sistemas acuapónicos se adaptan con soporte en malla en remplazo de las laminas de icopor. El orégano es

una planta que produce rizomas rastreros que posteriormente pueden generar una nueva planta y al usar las láminas de icopor a modo de cama flotante se impedía el adecuado crecimiento de estas estructuras. Por ello, en el trabajo realizado por Riaño et al. (2010) al adaptarse el soporte en malla la producción aumentó considerablemente pues permitió el crecimiento de los rizomas rastreros obteniendo una producción de casi al doble 186+/- 21,63 g/sistema es decir 1235,96 g/m².

Otra estrategia que se utiliza en la hidroponía y recientemente en la acuaponía es la aplicación foliar de macroelementos y microelementos (Roosta y Hamidpour, 2011) lo cual podría ser particularmente ventajoso en la acuaponía pues se podrían aplicar algunos elementos sin cambiar las propiedades fisicoquímicas del agua y sin riesgo de llegar a afectar los peces.

AGRADECIMIENTOS

A la Vicerectoría de Investigaciones por el apoyo al proyecto CIAS 370 y a la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad Militar Nueva Granada. Así mismo, a Mario Oswaldo Tovar, Henry Acuña, Ana Torres y Liliana Cifuentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adler PR, J.K Harper, E.M Wade, F. Takeda, S.T Summerfelt. 2000. Economic Analysis of an Aquaponic System for the Integrated Production of Rainbow Trout and Plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture* Vol. 1
2. Al-Hafedh JS, Alam A, Salaheldin MB. 2008. Food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journal of the world aquaculture society*. 39: 510-519
3. Assured produce ltd, 2002. Crop Specific protocol for Culinary Herbs-205. Issue No. 1/2002.
4. Barbazán M. 1998. Análisis de plantas y síntomas visuales de deficiencia de nutriente. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Montevideo – Uruguay. <http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/publica/AnPlantas.pdf>
5. Britton JR, Boar RR, Grey J, Foster J, Lugonzo J, Harper DM. 2007. From introduction to fishery dominance: the initial impacts of the invasive carp *Cyprinus carpio* in Lake Naivasha, Kenya, 1999 to 2006. *Journal of Fish Biology*, 71: 239- 257.
6. Carrascal J. 2010. Evaluación de la etapa de levante de carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas cerrados de recirculación de agua. Tesis de pregrado. Programa de Biología Aplicada. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. 58 p.
7. Delgado PA, Padilla SC. 2010. Evaluación del uso de abonos orgánicos comerciales y preparados localmente en tomillo (*Thymus vulgaris*) y orégano (*Oreganum vulgare*) en Cajicá (Cundinamarca, Colombia). Tesis de pregrado. Programa de Biología Aplicada. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. 96 p.
8. Dell B, Malajczuk N, Grove T. 1995. Nutrient disorders in plantation of Eucalypts. Australian centre for international agricultural research. Australia.
9. Dirección de Acuicultura (2010). Cultivo de carpa común (*Cyprinus carpio*). http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/01e-species/_archivos/000007Sogyo%20y%20Carpa/100331_Cultivo%20de%20carpa.PDF?PHPSESSID=e5b9f2d7a15cd20fa770fe0e88d6dbe0
10. Diver S. 2006. Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA). 28p.
11. Dordas C. 2009. Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (*Origanum vulgare ssp. hirtum*). *Industrial crops and products*, 29: 599–608.
12. Flores CQ. 2002. Respuestas neuroendócrinas al estrés en peces teleósteos. *Rev.ictiol.*10:57-78.
13. Gilsanz J.C. 2007. Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Uruguay. 16 p.
14. Gómez C, Franco G, Gallego J. 2004. Análisis de crecimiento de lulo "La Selva" (*Solanum quitoense* Lamb), en condiciones del Departamento de Caldas. *Revista Comalfi*, 32: 44-46.
15. Graeff A, Pruner E. 2000. Efeito da Densidade de Povoamento na Produtividade Final em Carpas (*Cyprinus carpio* var *specularis*) em Fase de Engorda, durante o Verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29: 639- 645.
16. Harmon T. 2003. NFT Aquaponics Systems: A Closer Look. *Aquaponics Journal* 7: 8- 11.
17. Henao, M. & R, Pedraza. 2006. Avances en la caracterización de los niveles de nutrientes en

- el tejido vegetal de meta y albahaca para el diagnóstico nutricional. En: Curso de Extensión "Últimas tendencias en hierbas aromáticas para exportación", Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 61-64 p.
18. Hernández C, Gómez E, Hurtado H. 2010. Estudio preliminar del levante de juveniles de arawana plateada *Osteoglossum bicirrhosum* en sistemas cerrados de recirculación. Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Militar Nueva Granada. 6:96-113.
 19. Hutchinson W, Mathew J, O'Sullivan D, Casemen D, Clarke S. 2004. Recirculating Aquaculture Systems: Minimum standards for design. Construction and management. Inland Aquaculture Association of South Australia Inc. Australia, 70 p.
 20. Karimaei MS, Massiha S, Mogaddam M. 2004. Comparison of two nutrient Solutions: effect on growth and nutrient levels of Lettuce, *Lactuca sativa* L. cultivars. Acta Horticulture, 644: 69-76.
 21. Lawson, TB. 1995. Fundamentals of aquacultural Engineering. Chapman & Hall, New York. 335 p.
 22. Leal A, Sanchez VC, Rodríguez D, Moreno P, Gómez E, Hurtado H. 2007. Estudio preliminar del efecto de la temperatura del agua sobre el crecimiento de *Carassius auratus* mantenido en sistemas de recirculación. Revista de la Facultad de Ciencias Básica Universidad Militar Nueva Granada, 3:163-175
 23. Losordo T, Masser M. Rakocy J. 1998. Recirculating aquaculture tank. United States Department of Agriculture. 6 p.
 24. Marentes, F. & Clavijo, J. 2006. Análisis de la Extracción de Nutrientes de Orégano (*Origanum vulgare* (L), *ssp Vulgare*) En: Curso de Extensión "Últimas tendencias en hierbas aromáticas para exportación". Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 201 p.
 25. Marschener, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. London Academic Press. London
 26. McMurtry MR, Sanders DC, Cure JD, Hodson RG, Haning BC, St Amand PC. 1997. Efficiency of water use of an integrated Fish Vegetable co-culture system. Journal of the world aquaculture society, 28: 420-428
 27. Meade, JW. 1985. Allowable ammonia for fish culture. Prog. Fish. Cult. 47:135-145
 28. Mercado BI, García JL, Rosado RC, Olaya CN, Segura FG, Brú SC, Tordecilla GP. 2006. Cultivo de dorada (*Brycon sinuensis* Dahl, 1955) en jaulas flotantes a diferentes niveles de proteína. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 19: 204- 211.
 29. Nelson R. 2006. Introduction to Recirculating Aquatic Systems. Aquaponics Journal, 33: 20- 24.
 30. Nelson R. 2007. Acuaponía. Nelson/Pade Multimedia. USA.
 31. Nelson R. 2008. Aquaponic food production: growing fish and vegetables for food and profit. USA, 217 p.
 32. Pang X, Cao ZD, Shi-Jian F. 2011. The effects of temperature on metabolic interaction between digestion and locomotion in juveniles of three cyprinid fish (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio* and *Spinibarbus sinensis*). Comparative Biochemistry and Physiology, Part A 159: 253-260
 33. Pineda R. 1999. Elaboración y evaluación de dietas a partir de harinas de barrilete (*Euthynnus linneatus*) y rasposa (*Haemulon maculiconda*) como alimento de bagre (*Ictalurus punctatus*) en condiciones de laboratorio. Tesis de maestría. Universidad de Colima. México, 51 p.

34. Piper, RG. McElwain, IB. Orme, LE. McCraren, JP. Fowler, LG. Leonard, JR. 1982. Fish Hatchery management. U.S. Fish and wildlife service, Washington, D.C.
35. Plan Hortícola Nacional. 2006. Corporación Colombiana Internacional – CCI. Tomado de: [www.cci.org.co/].
36. R versión 2.7.1. De libre distribución en Internet (<http://www.r-project.org/>)
37. Rakocy JE, Shultz RC, Bailey DS, Thoman ES. 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 648:63-69. (http://www.actahort.org/books/648/648_8.htm)
38. Rakocy JE, Bailey DS, Shultz RC, Thoman ES. 2006. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. University of the Virgin Islands. Agricultural Experiment Station. <http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/676.pdf>
39. Rakocy J. 2007. Aquaponics: integrating fish and plant culture. p. 767-822 En: Timmons MB y Ebeling JM. 2007. *Recirculating aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca. New York, USA, 975p.
40. Ramírez D, Sabogal D, Gómez E, Rodríguez DC, Hurtado H. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 5: 154-170
41. Riaño E. Hurtado H. Gómez E. 2010. Evaluación de un sistema acuapónico utilizando un sustrato en malla para la producción de orégano (*Origanum vulgare*)-carpa común (*Cyprinus carpio*). Proyecto de Iniciación Científica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. 30p.
42. Rincón R.A. 2009. Determinación de las relaciones existentes entre la temperatura ambiental, la masa visceral y corporal, la longitud corporal, el área muscular y la frecuencia respiratoria de *Carassius auratus*. Tesis de pregrado para optar al título de biólogo. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, 65 p.
43. Roostaa HR, Hamidpour M. 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae* 129: 396-402.
44. Salazar MB, Ocampo D. 2002. Tasa de crecimiento del pez ángel *Pterophyllum scalare* (Perciformes: Chichlidae) en condiciones de laboratorio. *Acta Universitaria* 12: 28- 33.
45. Salisbury F, Ross C. 2000. Fisiología de las plantas. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. Volumen 3. 1907 p.
46. Suárez DC, Morales ML. 2009. Evaluación de la fertilidad de un andisol en Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia) para el cultivo de romero (*Rosmarinus officinalis*) y orégano (*Origanum vulgare*). Tesis de pregrado para optar al título de biólogo. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, 134 p.
47. Timmons M. Ebeling J. 2007. *Recirculating Aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures. Ithaca. New York, USA, 975p.
48. Tyson RV, Simmone E, Whitte JM, Lamb EM. 2004. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. *Proc. Florida State Horticultural Society*. 117:79-88.