

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL



Efecto de la inclusión de *Pomacea canaliculata* Lamarck (Gastropoda: Ampullariidae), sobre el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en un sistema acuapónico con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*).

ASTRID VICTORIA CRISTINA HERNANDEZ ARCHILA

GUATEMALA, JULIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIA ANIMAL

Efecto de la inclusión de *Pomacea canaliculata Lamarck* (Gastropoda: Ampullariidae), sobre el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en un sistema acuapónico con tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*).

TESIS

Presentada al comité evaluador de tesis de la escuela de estudios de postgrado en cumplimiento con los requisitos establecidos por el Sistema de Postgrado y la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala

POR

Inga. Agra. Astrid Victoria Cristina Hernandez Archila

Como requisito para optar al grado académico de

Maestra en Ciencias

DEDICADO A:

Dios

Mis padres: Marisol y Estuardo, por ser el pilar fundamental de mi vida.

Mi hermana: Johana, para quien espero ser un ejemplo.

Mis abuelos: Cristina y Francisco, por sus constantes consejos.

Mis amigos del alma: Mauricio y Samuel, por su constante apoyo y amistad.

Al amor de mi vida, por tantos sueños que compartimos.

AGRADECIMIENTOS A:

Ligia Ríos, Dennis Guerra, Carlos Valdez y Samuel Fuentes por su valiosa colaboración y apoyo en esta etapa académica.

Federico Villatoro, David Morán, Raúl Villeda y Dennis Guerra por contribuir con mi formación profesional.

Julio López y Mercedes Díaz por su constante apoyo en la fase de campo de la presente investigación.

INDICE

Contenido	Página
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción	2
Materiales y métodos	4
Área de estudio.....	4
Siembra de plantas	5
Manejo de los peces	6
Inclusión de caracoles manzana	6
Diseño del estudio	6
Recopilación de datos.....	6
Análisis estadístico.....	7
Resultados y discusión	7
Conclusiones	11
Referencias.....	12

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de tesis titulado “Efecto de la inclusión de *Pomacea canaliculata* Lamarck (Gastropoda: Ampullariidae), sobre el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en un sistema acuapónico con tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*)”, está redactado en formato de artículo científico, tal como lo establece el Normativo de Tesis de Maestría en Ciencias de la escuela de Postgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; y apto para ser remitido a una revista científica indexada.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

TRABAJO PRESENTADO POR



Inga. Agra., Astrid Victoria C. Hernandez Archila

AUTOR



Ph.D., MSc., M.V., Dennis Sigfried Guerra Centeno

TUTOR



M.A., Lic. Zoot., Ligia Vanesa Ríos de León

DIRECTORA DE ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

IMPRIMASE



M.A., M.V., Gustavo Enrique Taracena Gil



DECANO

Efecto de la inclusión de *Pomacea canaliculata* Lamarck (Gastropoda: Ampullariidae), sobre el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en un sistema acuapónico con tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*).

¹⁻²Hernandez-Archila, A., ²Guerra-Centeno, D.

¹Instituto de Investigaciones Agronómicas CUNSAO. IIACUNSAO. Centro Universitario de Santa Rosa. USAC.

²Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. USAC.

*Autor al que se dirige la correspondencia: hernandez.astrid@usac.edu.gt

Resumen

Se determinó el efecto de la inclusión de *Pomacea canaliculata*, sobre el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en un sistema acuapónico con tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). Se utilizaron dos módulos acuapónicos; el primero con 60 plantas (30 de cada especie), 15 tilapias y 100 caracoles. El segundo módulo con 60 plantas (30 de cada especie) y 15 tilapias. El período de evaluación fue de 42 días. Se registró la supervivencia, el crecimiento y la biomasa producida. La supervivencia para ambas especies vegetales en el sistema fue de 100%. La biomasa vegetal reflejó diferencias en función de la inclusión de *P. canaliculata* ($p=0.042$). Así mismo, la diferencia en el crecimiento de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) fue significativamente diferente ($p=0.002$) en el módulo con inclusión de *P. canaliculata*, en el cual se observó una diferencia cercana al 36% del área radicular y mientras que la diferencia del área foliar fue del 32%, en el módulo con inclusión de caracoles. Los resultados sugieren que existen efectos positivos de la inclusión de Pomáceos sobre el crecimiento y supervivencia de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) dentro de un sistema acuapónico con tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). Este efecto podría estar dado por la contribución de los caracoles en la remoción de los sólidos suspendidos y en la disminución de las algas que cubren las raíces de las plantas bloqueando la absorción de nutrientes.

Palabras clave: Caracol manzana | acuicultura | técnica de película de nutrientes (NFT) | Agricultura sostenible | sistemas de recirculación de agua |

Abstract

The effect of the inclusion of *Pomacea canaliculata* on the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) in an aquaponic system with Nilotica tilapia (*Oreochromis niloticus*) was determined. Two aquaponic modules were used; The first with 60 plants (30 of each species), 15 tilapia and 100 snails. The second module with 60 plants (30 of each species) and 15 tilapia. The evaluation period was 42 days. Survival, growth and biomass produced are recorded. Survival for plant species in the system was 100%. The behavior of the biomass reflects the plant differences in the function of the inclusion of *P. canaliculata* ($p = 0.042$). Likewise, the difference in the growth of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) was significantly different ($p = 0.002$) in the module including *P. canaliculata*, in which a difference close to 36% of the radicular area is found and while the difference in leaf area was 32%, in the module including snails. The results show that there are positive effects of the inclusion of Pomáceos on the growth and survival of basil (*Ocimum basilicum* L.) and amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) within an aquaponic system with tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*). This effect could be given by the contribution of the snails in the removal of the suspended solids and the decrease of the algae that cover the roots of the plants blocking the absorption of the nutrients.

Keywords: Apple snail | aquaculture | nutrient film technique (NFT) | Sustainable agriculture | water recirculation systems |

Introducción

La acuaponía es una técnica que combina la hidroponía y la acuicultura logrando la producción integrada y simultánea de plantas y peces (Lennard & Leonard, 2006). El sistema acuapónico es una forma especial del sistema de recirculación acuícola (Graber & Junge, 2009) donde los metabolitos excretados al agua por los peces (*e.g.* compuestos nitrogenados y fosforo; *sensu* Schneider, Sereti, Eding & Verreth, 2005), son sometidos a un proceso biológico convirtiéndolos a nutrientes disponibles (Valdez-Sandoval & Guerra-Centeno, 2017) que incluso aproximan su acumulación a concentraciones equivalentes a las de soluciones madre hidropónicas (Rakocy, Hargreaves & Bailey, 1993; Rakocy, Masser & Losordo, 2006). Dentro del sistema se dan una serie de interacciones biológicas (Campos-Pulido et al., 2013) que facilitan los procesos de absorción indispensables para la producción

de biomasa vegetal (Naegel, 1977; Goddek et al., 2015; Forchino, Lourguioui, Brigolin, & Pastres, 2017; Al-Hafedh, Alam & Beltagi, 2008). Las plantas ejercen el papel de purificadoras de agua, por lo tanto, el sistema no exige reemplazo del agua ni adición de fertilizantes (Schreier, Mirzoyan, & Saito, 2010; Van Rijn, 2013; Valdez-Sandoval & Guerra-Centeno, 2017).

Los estanques acuícolas se consideran de nivel eutrófico (Streble & Krauter, 1987), son abundantes en nutrientes fosfatados y nitrogenados (Graber & Junge, 2009) y presentan un alto desarrollo de microalgas y zooplancton, así como agua profunda con poco oxígeno que facilita la proliferación de algas (Streble & Krauter, 1987). Por lo tanto, es indispensable, dentro de los sistemas acuícolas, mantener un sistema mecánico o biológico de filtración del agua con el fin de separar y remover los sólidos en suspensión –tales como los residuos provenientes de restos de alimentos, materia fecal de peces, bacterias, hongos y algas que se desarrollan en el sistema (Candarle, 2006; Gómez-Merino et al., 2015). En caso de no ser removidos, los sólidos en suspensión se desintegran en partículas pequeñas que son descompuestas por bacterias anaeróbicas liberando nutrientes, no obstante, degradan la calidad del agua, ejercen una demanda biológica de oxígeno alta que también aumenta los niveles de dióxido de carbono disuelto y por medio de la recirculación del agua llegan a las raíces de las plantas cubriéndolas e impidiendo la absorción de nutrientes (Maigual, Sánchez & Matsumoto, 2013; Davidson & Summerfelt, 2005; Gutiérrez, 2012).

Los desechos y la biomasa de algas producidos en el sistema acuapónico podrían representar un recurso alimenticio para un número seleccionado de especies acuáticas como los Gasterópodos pertenecientes a la Familia Ampullariidae específicamente el género *Pomacea* (Martins et al., 2010; Gutiérrez, 2012), que han sido objeto de diversos estudios por su importancia ecológica y económica. Los pomáceos por su dispersión antropogénica alrededor del mundo (Albrecht, Carreno & Castro-Vazquez, 1996), poseen diversos hábitos alimenticios dependiendo las condiciones de su entorno siendo éstas: herbívoros generalizados, carroñeros (*sensu*, Rangel-Ruíz, Gamboa-Aguilar & Medina, 2003), macrofitófagos, zoófagos (Cazzaniga, 2002), antagonistas biológicos de malezas acuáticas (Estebenet & Martin, 2002; Albrecht et al., 1996) y micrófagos (e.g. consumo de perifitones, detritos y microalgas en suspensión) (Perera, 1996). Al respecto, Horgan, Stuart &

Kudavidanage (2014), resaltan que bajo las condiciones donde las macrófitas, las algas y los detritos son lo suficientemente abundantes, la depredación de la fauna acuática es probablemente baja.

Por otra parte, López, Ocon, Ferreira & Rodrigues (2016), enfocados en observaciones del contenido intestinal y análisis de isotopos estables de caracoles manzana (*Pomacea canaliculata* Lamarck), concluyeron que en su hábitat nativo la frecuencia de consumo de detritos es del 100%, así mismo resaltan que el consumo de las algas de la división Chlorophyta y Bacillariophyceae es de mayor frecuencia respecto a cianobacterias, hongos y restos de animales. Un estudio reciente realizado por Valdez-Sandoval, Guerra-Centeno & Díaz-Rodríguez (2018), resalta como aspecto negativo el sobrecrecimiento de algas verdes en las tuberías de conducción y en las raíces de las plantas limitando su crecimiento así mismo indican que podría ser beneficioso introducir al sistema caracoles o crustáceos que puedan contribuir a disminuir la alta proliferación de algas e incrementar la calidad del agua. Basados en los argumentos anteriores sobre investigaciones previas resulta oportuno realizar estudios enfocados en el efecto de la inclusión de Pomáceos sobre el crecimiento de las plantas dentro de un sistema acuapónico, como un mecanismo de filtración biológico para la eliminación de sólidos en suspensión (específicamente algas), que en la mayoría de los sistemas acuapónicos disminuye la absorción de nutrientes en las plantas. Por consiguiente, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la inclusión de *P. canaliculata*, sobre el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en un sistema acuapónico con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*).

Materiales y métodos

Área de estudio

La fase de campo se realizó en el módulo de investigación de acuaponía del Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Ecosalud de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala -USAC-, ubicado en las coordenadas 14°34'54.05"N. 90°33'27.53"O (Valdez-Sandoval & Guerra-Centeno, 2017). Según Cruz (1982), se ubica en la zona de vida bosque húmedo subtropical templado,

presenta una temperatura media anual de 18.5° C, humedad relativa media de 78 %, precipitación pluvial anual de 1200 mm y una elevación de 1473 metros sobre el nivel del mar (Guerra-Centeno, Valdez-Sandoval, Aquino-Sagastume, Díaz & Ríos, 2016).

Se utilizaron dos módulos acuapónicos con la técnica de película de nutrientes -NFT- (Nutrient Film Technique), consistente en canales de plástico para el soporte de la planta con una película de agua y nutrientes disueltos que fluyen a través de ellos (Rakocy et al., 2006). Cada módulo se conformó de un sistema constituido por un tanque de agua de 750 litros (3.66 m²) (0.75 m³), para la producción de organismos acuáticos, una bomba sumergible Truper 350W de 1.5 caballos de fuerza para circular el agua en el sistema cerrado y un biofiltro Tetra Pond PF-1 (Valdez-Sandoval & Guerra-Centeno, 2017; Gutiérrez, 2012). Además, de circuitos de tubos (PVC), de 3 metros de largo y 4 pulgadas de diámetro dispuestos en un arreglo de zig-zag con pendiente de 1 a 3% del tubo uno al tubo cuatro.

En cada circuito se encontraban 80 orificios de 6 centímetros de diámetro distanciados 20 centímetros entre sí, en los que circuló agua en una película fina de 1 a 4 mm de altura con los nutrientes para ser absorbidos por las raíces de las plantas. El volumen de agua que circuló en los módulos acuapónicos fue conducido hacia un filtro biológico y del mismo hasta el circuito de tubos PVC por medio de una manguera de poliéster de 0.5 pulgadas de diámetro. El biofiltro se situó en la parte superior del sistema para hacer fluir el agua por gravedad (Guerra-Centeno et al., 2016) este posee una esponja que filtra los sólidos y una población de bacterias establecidas en un estrato de biobolas que transforman el amoníaco en nitritos y los nitritos a nitratos (Valdez-Sandoval et al., 2018). Los tanques que conformaban el sistema son contenedores de agua marca Aquaplas® de una altura de 1.10 metros y diámetro de 1.06 metros. Dentro de él se introdujeron las tilapias (*Oreochromis niloticus*) y una bomba sumergible que impulsó el agua a través de una manguera hacia el biofiltro.

Siembra de plantas

De un almacigo se seleccionaron 60 pilones de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), y 60 de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.). Se utilizaron los pilones más vigorosos y de tamaño homogéneo. A cada una de las plantas se le retiraron los residuos de sustrato adheridos a las raíces antes de tomar datos de peso y talla. Posteriormente, los pilones se colocaron en una

canasta plástica con un sustrato de roca volcánica y fueron trasplantados aleatoriamente en el sistema acuapónico (i.d. introducidas en los orificios de cada circuito).

Manejo de los peces

Se utilizaron organismos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) ya que estos se adaptan a los tanques del sistema acuapónico, toleran fluctuaciones de pH, temperatura, agua, oxígeno y sólidos disueltos del agua (Turkmen & Guner, 2010; Gutiérrez, 2012). Las tilapias fueron adquiridas en una producción comercial y previo a ser sembradas fueron sometidas a un periodo de adaptación de una semana, posteriormente se introdujeron al azar 15 peces por tanque. La alimentación fue a base de un alimento comercial Purina Tilapina® con 32% de proteína.

Inclusión de caracoles manzana

Se utilizaron gasterópodos de la especie *Pomacea canaliculata* Lamarck, debido a su adaptabilidad en hábitat naturales y condiciones de cautiverio (Albrecht et al., 1996), así como por sus diversos hábitos alimenticios específicamente su preferencia de consumo hacia sólidos en suspensión (López et al., 2016). Se introdujeron al tanque del tratamiento control 133 caracoles (densidad de 37 caracoles/m²). Los pomáceos se alimentaron de sólidos en suspensión (i.d., residuos provenientes de restos de alimentos, materia fecal de peces, bacterias, hongos y algas que se desarrollan en el sistema) (Candarle, 2006; Gómez-Merino et al., 2015).

Diseño del estudio

Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos (tanque con caracoles y tanque sin caracoles), seis repeticiones y 10 plantas (individuos por repetición). Se utilizaron 60 plantas por tratamiento (30 de cada especie), para un total de 120 plantas.

Recopilación de datos

Se registró la altura de las plantas (desde la base del tallo al meristemo apical) y la longitud radicular (cm) con una cinta métrica, al ingresar al sistema acuapónico, y a los 42 días del trasplante. Se determinó la talla de los peces con una regla, a su ingreso al sistema acuapónico y al finalizar el ensayo (42 días). El peso de las plantas, los caracoles y los peces se determinó con una balanza iBalance 700®, al ingresar al sistema acuapónico y a los 42 días. Se tomaron las lecturas de Temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica (CE), y total

de sólidos disueltos (TSD), para ambos tanques, utilizando un medidor multiparamétrico Hanna® modelo HI 001300.

Análisis estadístico

Para describir la supervivencia, el crecimiento y la biomasa de los organismos en el sistema se utilizó estadística descriptiva. Para comparar el crecimiento y la biomasa de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y el amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), se utilizó un análisis de varianza de una vía. Tanto la estadística descriptiva como los análisis de varianza se efectuaron utilizando el software estadístico R versión 3.5.1 para la plataforma Windows.

Resultados y discusión

Se determinó un 100% de supervivencia de las especies vegetales evaluadas para ambos tratamientos <con y sin inclusión de *Pomacea canaliculata*>, sin embargo, el desarrollo de estas fue diferente, observándose mayor crecimiento y mayor producción de biomasa en el módulo con inclusión de *Pomacea canaliculata* (tratamiento 1).

La biomasa vegetal fue alrededor de 30% mayor en el tratamiento con inclusión de caracoles (M1), sobre todo en el caso del amaranto (Figura 1).

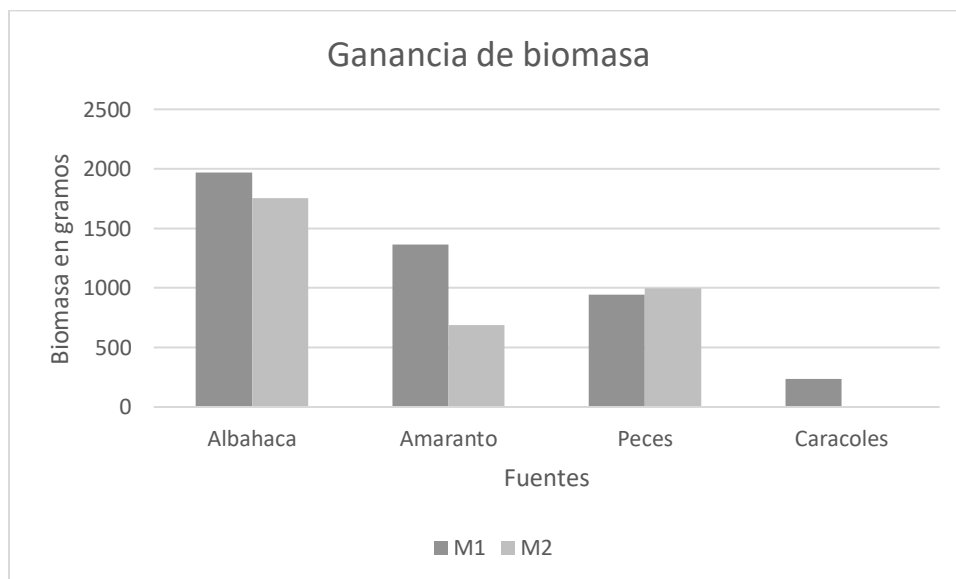


Figura 1. Biomosas finales en ambos tratamientos (M1 = con caracoles, M2 = sin caracoles)

En la figura 2, se muestran las distribuciones de la biomasa total (albahaca + amaranto), del amaranto y de la albahaca. La biomasa combinada (albahaca + amaranto) fue diferente en función de la inclusión de los caracoles ($p=0.042$), presentándose un incremento en el módulo con presencia de pomáceos (Figura 2a).

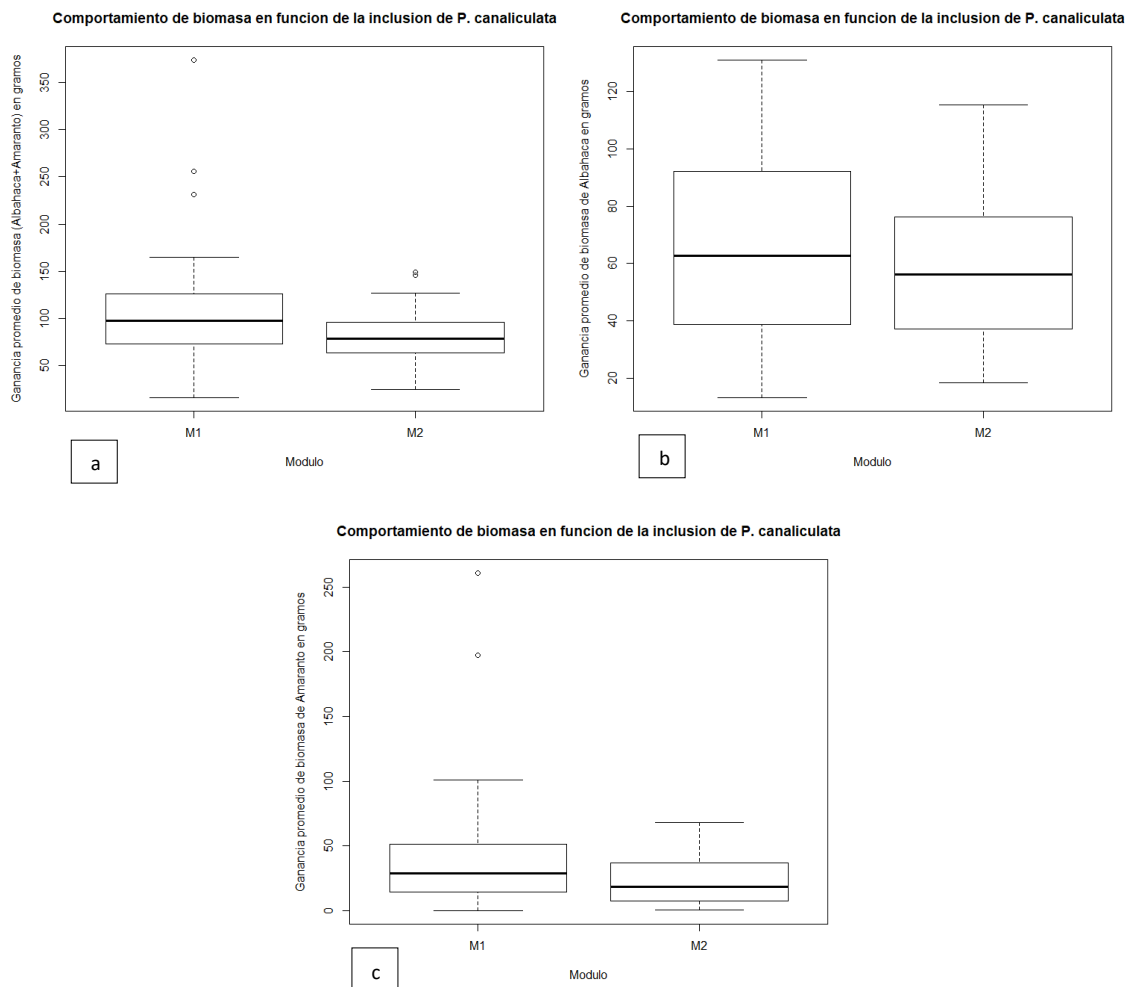


Figura 2. Comportamiento de biomasa en función de la inclusión de *Pomacea canaliculata* (a = biomasa total, b= biomasa de albahaca, c = biomasa de amaranto).

En la figura 2b, se aprecia el comportamiento de la biomasa de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), la cual a pesar de que visualmente mostraba diferencias, éstas no son significativas ($p=0.345$). No obstante, la diferencia perceptible es conferida por el comportamiento de amaranto (*Amarantus cruentus* L.) (figura 2c), presentándose una mayor biomasa en el módulo con inclusión de *P. canaliculata* ($p=0.042$).

En la figura 3, se observa la comparación del crecimiento de plantas, así como el de peces, observándose el mayor incremento en el módulo con inclusión de *P. canaliculata*. Se presentó un mayor crecimiento de albahaca en el módulo sin presencia de gasterópodos, sin embargo, el comportamiento de amaranto fue contrario. Reportándose los mayores crecimientos en el módulo con inclusión de caracoles. Contrario a la ganancia de peso, se aprecia que el crecimiento de los peces en el módulo con inclusión de caracoles fue mayor.

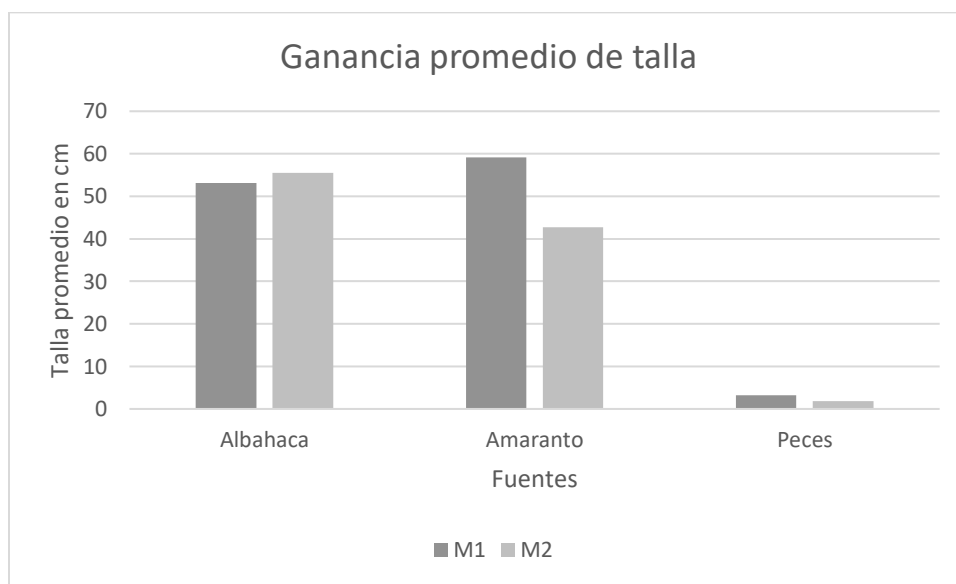


Figura 3. Ganancia promedio de talla

En la figura 4, se analiza el comportamiento del crecimiento (talla) en función de la inclusión de *P. canaliculata*. Se observó que el crecimiento de amaranto fue significativamente diferente ($p=0.002$) en el módulo 1 con inclusión de *P. canaliculata* (figura 4a). La diferencia en el crecimiento de albahaca se puede visualizar en la figura 4b, la cual no es significativa ($p=0.423$).

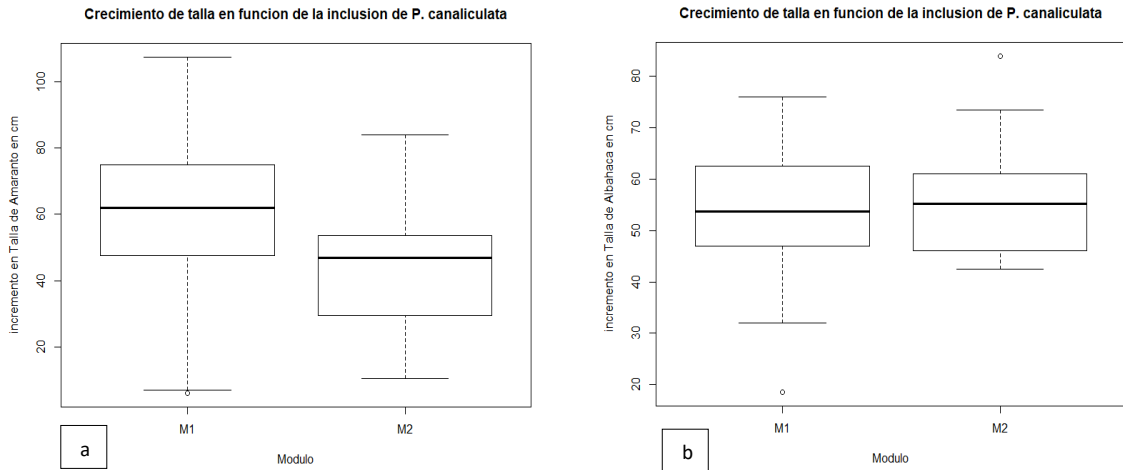


Figura 4 Crecimiento en función a la inclusión de *Pomacea canaliculata*

En la figura 5, se analizó el crecimiento del área foliar, así como el área radicular de *A. cruentus*. En la figura 5a, se aprecia un incremento cercano al 36% del área radicular en el módulo con inclusión de caracoles ($p=0.02$). De igual forma, la figura 5b registra un incremento del área foliar <32%> en el módulo con la inclusión de *P. canaliculata* ($p=0.003$).

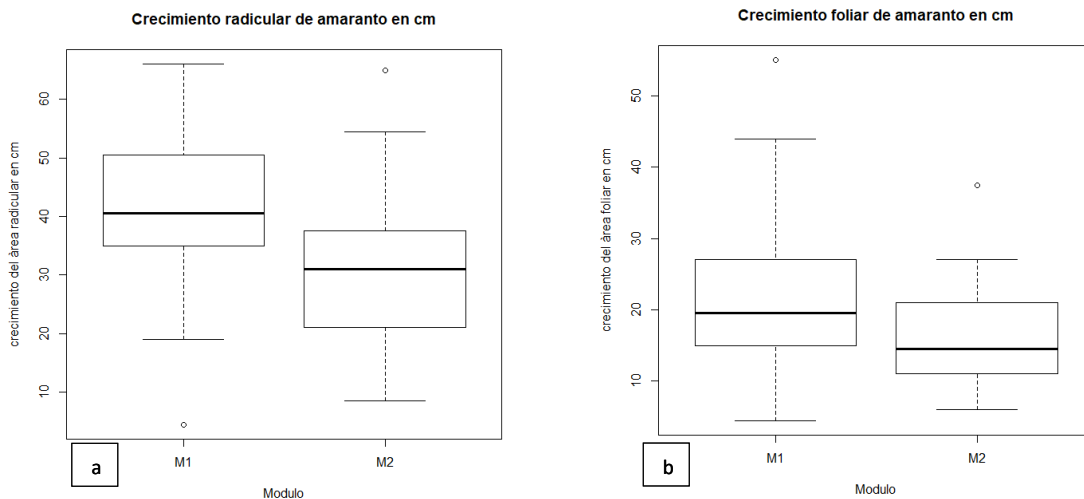


Figura 5. Crecimiento de área foliar y radicular en centímetros

El módulo sin inclusión de caracoles tuvo 165 ppm de sólidos disueltos mientras que en el módulo con la inclusión de caracoles la cantidad de sólidos disueltos fue de 155 ppm. Lo anterior evidencia que la cantidad de sólidos disueltos en el agua disminuyó un 6%

respecto al tanque con la inclusión de *Pomacea canaliculata*. Los resultados sugieren que existen efectos positivos de la inclusión de Pomáceos sobre el crecimiento y supervivencia de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) dentro de un sistema acuapónico con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). Este efecto podría estar dado por la contribución de los caracoles en la remoción de los sólidos suspendidos y en la disminución de las algas que cubren las raíces de las plantas bloqueando la absorción de nutrientes.

Conclusiones

Se determinó un 100% de supervivencia de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), con y sin inclusión de *Pomacea canaliculata*.

El comportamiento de la biomasa vegetal combinada presentó diferencias en función de la inclusión de *P. canaliculata* ($p=0.042$). Al analizar dichas diferencias por separado se aprecia que el comportamiento de la biomasa de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), no fue significativa ($p=0.345$). No obstante, la diferencia perceptible deriva del comportamiento de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.).

El crecimiento de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) fue significativamente diferente ($p=0.002$) en el módulo con inclusión de *P. canaliculata*. Se observó un incremento cercano al 36% del área radicular en el módulo con inclusión de caracoles y un incremento del área foliar <32%> en el módulo con la inclusión de *P. canaliculata*. No obstante, el crecimiento de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) no fue significativo ($p=0.423$).

Referencias

- Adler, P. R., Harper, J. K., Wade, E. M., Takeda, F., & Summerfelt, S. T. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 1(1).
- Al-Hafedh, Y. S., Alam, A., & Beltagi, M. S. (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(4), 510-520.
- Albrecht, E. A., Carreno, N. B., & Castro-Vazquez, A. (1996). A quantitative study of copulation and spawning in the South American apple-snail. *Veliger*, 39(2), 142-147.
- Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish Graber, A., & Junge, R. (2009). wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147–156.
- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Asiain-Hoyos, A., & Retamendiola, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(spe5), 939-950.
- Candarle, P. (2006). Técnicas de acuaponia. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura, 14-20.
- Cazzaniga, N. J. (2002). Old species and new concepts in the taxonomy of Pomacea (Gastropoda: Ampullariidae). *Biocell: official journal of the Sociedades Latinoamericanas de Microscopía Electronica... et. al*, 26(1), 71-81.
- Davidson, J., & Summerfelt, S. T. (2005). Solids removal from a coldwater recirculating system—comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquacultural Engineering*, 33(1), 47–61.
- Cruz, S. (1982). Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento (No. 634.918 C957c). Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala (Guatemala). Sector Público Agropecuario y de Alimentación Instituto Nacional Forestal, Guatemala.

- Estebenet, A. L., & Martín, P. R. (2002). Workshop: "Biology of Ampullariidae" Minireview. *BIOCELL*, 26(1), 83-89.
- Forchino, A. A., Lourguioui, H., Brigolin, D., & Pastres, R. (2017). Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*, 77, 80–88.
- Guerra-Centeno, D., Valdez-Sandoval, C., Aquino-Sagastume, E., Díaz, M., & Ríos, L. (2016). Adaptación y rendimiento de plantas autóctonas de Guatemala en un sistema acuapónico. *Revista Electrónica de Veterinaria, REDVET*, 17(11).
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 7(4), 4199-4224.
- Gómez-Merino, F. C., Ortega-López, N. E., Trejo-Téllez, L. I., Sánchez-Páez, R., Salazar-Marcial, E., & Salazar-Ortiz, J. (2015). La acuaponía: alternativa sustentable y potencial para producción de alimentos en México. *Agroproductividad*, 8(3), 60-65.
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3), 147–156.
- Gutiérrez, M. E. M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador técnico*, (76), 123-129.
- Horgan, F. G., Stuart, A. M., & Kudavidanage, E. P. (2014). Impact of invasive apple snails on the functioning and services of natural and managed wetlands. *Acta Oecologica*, 54, 90-100.
- Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6), 539-550.
- López Van Oosterom, M. V., Ocon, C. S., Ferreira, A. C., & Rodrigues Capitulo, A. (2016). The diet of *Pomacea canaliculata* (Gastropoda: Ampullariidae) in its native habitat based on gut content and stable isotopes analysis. *Intropica*, 11.

- Maigual, Y., Sánchez, I., & Matsumoto, T. (2013). Performance of sedimentation tanks in a recirculating system for tilapia production. *Revista MVZ Córdoba*, 18(2), 3492-3500.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., ... Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93.
- Morrison, W. E., & Hay, M. E. (2011). Induced chemical defenses in a freshwater macrophyte suppress herbivore fitness and the growth of associated microbes. *Oecologia*, 165(2), 427-436.
- Naegel, L. C. A. (1977). Combined production of fish and plants in recirculating water. *Aquaculture*, 10(1), 17–24.
- Perera, G. (1996). Apple snails in the aquarium: Ampullariids-their identification, care, and breeding. USA: TFH Publications.
- Rangel-Ruíz, J. L., Gamboa-Aguilar, J., & Medina, R. U. (2003). *Pomacea flagellata* (Say, 1827) un gigante desconocido en México. *Revista de divulgación KUSULKAB'*, IX, 5-9.
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., & Losordo, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics—integrating fish and plant culture. *SRAC publication*, 454, 1-16.
- Rakocy, J.E., Hargreaves, J. A., Bailey, D.S. 1993. Nutrient accumulation in a recirculating aquaculture system integrated with vegetable hydroponic production. In: J.-K. Wang, Ed. *Techniques for Modern Aquaculture*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 148-158.
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., & Verreth, J. A. J. (2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural engineering*, 32(3-4), 379-401.
- Schreier, H. J., Mirzoyan, N., & Saito, K. (2010). Microbial diversity of biological filters in recirculating aquaculture systems. *Current Opinion in Biotechnology*, 21(3), 318–325.

- Selock, D. (2003). An introduction to aquaponics: the symbiotic culture of fish and plants. *Rural enterprise and alternative agricultural development initiative report*, (20), 1-6.
- Streble, H., & Krauter, D. (1987). *Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce*. Barcelona: Omega.
- Turkmen, G., & Guner, Y. (2010). *Aquaponic (Integrating Fish and Plant Culture) Systems*.
- Valdez-Sandoval, J. C., & Guerra-Centeno, D. (2017). *Experiencias en la investigación de acuaponía con variedades de frijol y tilapias*. Guatemala: Editorial Serviprensa.
- Valdez-Sandoval, C., Guerra-Centeno, D., & Díaz-Rodríguez, M. (2018). *Adaptación y rendimiento de plantas culinarias de Guatemala en un sistema acuapónico. Apuntes de investigación*. Guatemala: Editorial Serviprensa.
- Van Rijn, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49–56.
- Vázquez-Silva, G., Castro-Barrera, T., Castro-Mejía, J., & Mendoza-Martínez, G. D. (2011). Los caracoles del género *Pomacea* (Perry, 1810) y su importancia ecológica y socioeconómica. *81*, 28-33.