

PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) IRRIGADA CON EFLUENTES DE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EN UN SISTEMA ACUAPONICO⁸

[PRODUCTION OF IRRIGATED LETTUCE (*Lactuca sativa* L.) WITH TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) EFLUENT IN AN AQUAPONIC SYSTEM]

Raúl Hernández-Naranjo¹, Efraín Neri-Ramírez^{1§}, Claudia C. Astudillo-Sánchez¹, Rafael Delgado-Martínez¹, Patricio Rivera-Ortíz¹, Pablo González-Alanís², María de la Luz Vázquez-Sauceda²

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Victoria, Cd. Victoria, Tamaulipas, México. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

[§]Autor para correspondencia: (eneri@docentes.uat.edu.mx).

RESUMEN

La acuaponía es un sistema de producción de alimentos que combina la hidroponía y la acuicultura en la cual los desechos de los organismos acuáticos sirven como nutrientes para el desarrollo de las plantas y éstas últimas sirven como biofiltro para mantener el agua limpia para los peces. Factores diversos intervienen en la dinámica de los nutrientes de los peces, como la cantidad y características del alimento que se suministra, la especie cultivada y la densidad de población, es decir, el número de organismos que se tienen en determinado volumen de agua. Por lo anterior el objetivo del presente trabajo fue determinar el desarrollo de la lechuga irrigada con los efluentes de dos diferentes densidades de población de tilapias. Se utilizaron dos sistemas acuapónicos con tilapia nilótica y lechuga francesa. Se realizó una comparación entre dos tratamientos con 10 repeticiones cada uno. El primer tratamiento consistió en un sistema acuapónico con 10 plantas de lechuga y una densidad de peces de 150 g (T150) y el segundo formado por 10 plantas de lechuga y una densidad de peces de 300 g (T300). Se encontró diferencia significativa en los parámetros de longitud de hoja, ancho de hoja, área foliar, peso fresco y peso seco con los valores más altos con la mayor densidad de población.

Palabras clave: Acuaponía, área foliar, densidad, peces, plantas.

ABSTRACT

Aquaponics is a food production system that combines hydroponics and aquaculture in which waste from aquatic organisms serves as nutrients for plant growth and the plants serve as a biofilter to keep the water clean for the fish. Various factors are involved in the nutrient dynamics of the fish, such as the quantity and characteristics of the food supplied, the species cultivated and the stocking density, that is the number of organisms in each volume of water. Therefore, the aim of this study was to determine the development of lettuce irrigated with effluent from two different stocking densities of tilapia. Two aquaponic systems were used with nilotic tilapia and French lettuce. A comparison was made between two treatments with 10 replicates each. The first treatment consisted of an aquaponic system with 10 lettuce plants and a fish density of 150 g (T150) and the second consisted of 10 lettuce plants and a fish density of 300 g (T300). Significant difference was found in the parameters of leaf length, leaf width, leaf area, fresh weight and dry weight with the highest values at the highest stocking density.

Index words: Aquaponics, leaf area, density, fishes, plants.

⁸ Recibido:20 de septiembre de 2021

Aceptado: 30 de noviembre de 2021

INTRODUCCIÓN

La acuaponía es un sistema integrado que combina la producción de cultivos hidropónicos y la acuacultura (Rakocy *et al.*, 2006; Muñoz, 2012); en el que el agua y los nutrientes son conservados, recirculados y reutilizados (Jung-Yuan y Yew-Hu, 2013). Sirve como un modelo sostenible de producción de alimentos saludables (Diver and Rinehart, 2006) y de alto valor nutritivo como carne de pescado y vegetales (Aguilera-Morales *et al.*, 2012). Tiene la ventaja de reducir el consumo de agua (Love *et al.*, 2015); al conservarla para su uso continuo (Aguilera-Morales *et al.*, 2012); con un gasto de agua diario estimado de tan solo el 1.5% del volumen total (Ramírez *et al.*, 2008). De acuerdo con Somerville *et al.* (2014) hay tres tipos básicos de sistemas acuapónicos, el sistema de camas con sustrato, en el cual este último es utilizado para sostener las raíces de las plantas y como filtro; el de balsas flotantes, en el cual se utilizan láminas de poliestireno para sostener a las plantas y en el que las raíces se sumergen en el agua; y el del film nutritivo (NFT por sus siglas en inglés), en el cual se hace pasar una lámina de agua a través de canales de cultivo como tubos de PVC de modo que las raíces se mantengan en contacto con el agua, así mismo, es uno de los más adecuados para la producción comercial y de traspatio debido a que su costo es bajo, la evaporación del agua es mínima y los materiales para su construcción son asequibles. Diversas especies acuáticas son utilizadas en este sistema (Diver and Rinehart, 2006); tal como el bagre, la lubina, la trucha y el pez dorado, no obstante, la tilapia es la especie que más se cultiva (Rakocy *et al.*, 2006); debido a que es un pez de gran contenido proteico, es de crecimiento rápido, tolera altas densidades de siembra, se adapta al cautiverio, es resistente a enfermedades, su carne blanca es de gran aceptación y de interés comercial a nivel mundial y es una especie con proyecciones de cultivo a escala comercial (Ríos, 2012). Por otro lado, entre las especies de plantas más empleadas se encuentran la espinaca, la albahaca, los berros y la lechuga (Diver and Rinehart, 2006); esta última es la más utilizada debido a que se produce en un periodo corto, tiene menos problemas de plagas (Rakocy *et al.*, 2006), y contiene nutrientes como calcio, fósforo, hierro, vitamina C y vitamina A (Ladrón *et al.*, 2004).

En este sistema los nutrientes provienen del agua y del alimento de los peces. La mayor parte del alimento es ingerido por los peces para su crecimiento y finalmente es excretado como heces sólidas y solubles, estas últimas son asimiladas rápidamente por las plantas mientras que el resto de las excreciones sólidas necesitan ser mineralizadas por microorganismos para que los nutrientes puedan ser utilizados por las plantas (Eck *et al.*, 2019). Tiene el potencial de reducir la contaminación ambiental causada por los efluentes de los peces, los cuales contienen concentraciones de materia orgánica (Hussain *et al.*, 2014; Diver and Rinehart, 2006); nitrógeno, fósforo y calcio suficientes para suplir la demanda de nutrientes de algunas plantas (Álvarez-García *et al.*, 2019). No obstante, algunos factores intervienen en la dinámica de los nutrientes de los efluentes, por ejemplo las características del alimento, la especie cultivada (Ladino-Orjuela, 2011), y la densidad de población (Maucieri *et al.*, 2019). Por lo anterior, el objetivo del presente artículo fue determinar el desarrollo de la lechuga irrigada con los efluentes de dos diferentes densidades de población de tilapias

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del sitio del experimento

El experimento se llevó a cabo del 15 de noviembre del 2019 al 15 de febrero del 2020 en un invernadero asimétrico de 12 m de longitud y 5 m de ancho con cubierta de polietileno de alta densidad en la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en Ciudad Victoria, Tamaulipas en las coordenadas 23° 42' 57.35" N y 99°9'7.96" O. El invernadero está equipado con ventanas laterales de acción manual las cuales fueron accionadas cuando la temperatura ambiental fue menor a 15 °C.

Sistema acuapónico

Se utilizaron dos sistemas acuapónicos tipo NFT, cada uno estuvo conformado por un tanque de 0.20 m³ para el cultivo de tilapia, un contenedor de 0.02 m³ relleno de tezontle y taparrosas que sirvió como filtro mecánico y biológico, un contenedor de 0.02 m³ como reservorio de agua, canales de cultivo de polietileno los cuales sirvieron para el cultivo de la lechuga, una bomba de agua sumergible de 200 L h⁻¹ para recircular el agua por sistema, una bomba aireadora electromagnética de 18 W de potencia, con una caudal de salida de 38 L/min, acoplado a una manguera de salida de ½" de diámetro y un conector de dos salidas de 8 mm de diámetro que sirvió para oxigenar ambos tanques de los peces (Figura 1).

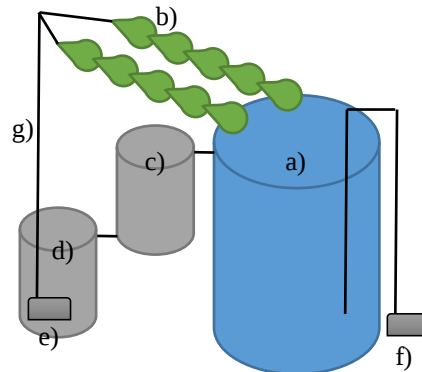


Figura 1. Prototipo de un sistema acuapónico de film nutritivo. a) contenedor de 0.20 m³, b) canales de cultivo, c) filtro, d) reservorio, e) bomba de agua, f) bomba aireadora y g) manguera.

Cada sistema se llenó con 0.22 m³ de agua y semanalmente se rellenó el agua perdida por evaporación. El sistema se inoculó con bacterias nitrificantes de presentación comercial con el fin de crear una colonia bacteriana que degradara el amonio y los nitritos a nitratos los cuales son aprovechables por las plantas.

Cultivo de la lechuga

Se utilizó lechuga (*Lactuca sativa* L.) var. Frisee de Meaux, la cual se sembró en charolas de germinación de 240 cavidades con tacos de foami agrícola. Posteriormente se trasplantaron a los canales de cultivo cuando alcanzaron una altura aproximada de 5 cm con cuatro hojas verdaderas. Finalmente, cuando las plantas ya estaban establecidas en los canales de cultivo se irrigaron con los efluentes del componente de acuacultura.

Cultivo de la tilapia

Se sembraron alevines machos de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) revertidos sexualmente de un peso y longitud promedio de 5 g y 5 cm, respectivamente. La longitud de los peces se midió al inicio y al final del experimento con una regla desde la aleta caudal hasta la cabeza y el peso total se midió con una balanza digital.

Tasa de alimentación

La tilapia requiere de una alimentación balanceada para un crecimiento óptimo. Los requerimientos de proteína varían de acuerdo con la etapa reproductiva cuando más pequeñas son, requieren una cantidad mayor de proteína, la cual varía entre 25 y 45%. De acuerdo con su peso, se recomienda que, para un mayor aprovechamiento, el alimento que se le suministre en el día se divida en dos raciones (El-Sayed, 2006). De manera que, de acuerdo con lo anterior, se le brindaron dos raciones diarias de alimento tipo pellet de 1.5 mm de diámetro de la casa comercial Purina, con un porcentaje de proteína de 45%, correspondientes a una tasa del 6% del peso corporal, siendo 9 g para el T150 y 18 g para el T300.

Efluentes

El pH se monitoreó semanalmente con un medidor portátil LAQUAtwin Horiba pH-11 con una precisión de ± 0.1 pH; la conductividad se midió semanalmente con un medidor de conductividad portátil LAQUAtwin Horiba EC-11 de una precisión de $\pm 2\%$; el oxígeno disuelto se midió cada semana con un medidor galvánico portátil de oxígeno disuelto con sonda Hannah® HI9147 y los nitratos se determinaron al final del experimento por el método de brucina (SE, 2001).

Diseño experimental

Se realizó una comparación entre dos tratamientos con 10 repeticiones cada uno. El primer tratamiento consistió en un sistema acuapónico con 10 plantas de lechuga y una densidad de peces de 150 g (T150) y el segundo formado por 10 plantas de lechuga y una densidad de peces de 300 g (T300).

Variables de respuesta

En la lechuga mensualmente se realizó la medición de longitud de hoja desde la base hasta el ápice; ancho de hoja; área foliar con un medidor LI-COR LI-3100; peso fresco total con una balanza de precisión A&D FX-1200i y peso seco total el cual se obtuvo después de someter la planta a 65 °C durante 72 h en un horno de laboratorio CENCO.

Análisis biométrico

Se registró el peso y la longitud total de las tilapias al inicio y al final del periodo experimental. Se calculó la tasa de crecimiento (TC), la tasa relativa de crecimiento (TEC) y el porcentaje de sobrevivencia.

$$TC = \frac{(Longitud\ final - Longitud\ inicial)}{(Tiempo\ final - Tiempo\ inicial)}$$

$$TEC = \frac{\ln(Longitud\ final) - \ln(Longitud\ inicial)}{(Tiempo\ final - Tiempo\ inicial)} * 100$$

$$\% Sobrevivencia = \frac{N^{\circ}\ final\ de\ organismos}{N^{\circ}\ inicial\ de\ organismos} * 100$$

Análisis estadístico

Las variables de respuesta se sometieron a una prueba t-Student para comparar las medias de los dos tratamientos analizados y para evaluar la hipótesis nula (H_0) que plantea que ambos tratamientos son iguales, se compararon los valores p con la regla de decisión que dice que si $p \leq 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y entonces se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que marca que ambos tratamientos son diferentes, y para cuantificar la diferencia entre ellos, se usó el coeficiente de variación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra la densidad de peces tuvo un efecto significativo sobre los parámetros longitud de hoja, ancho de hoja y área foliar, obteniendo los mayores resultados con el T300, es decir, una mayor densidad de peces permite obtener una mayor producción del sistema caulinar de las lechugas, esto se le puede atribuir a que la biomasa de este tratamiento produce suficientes metabolitos nitrogenados para el correcto desarrollo de las plantas (Ronzón-Ortega *et al.*, 2012). Por otro lado, el menor desarrollo de estos parámetros en el T150 se debe a que hubo deficiencia de nitrógeno lo cual afectó negativamente el desarrollo de las hojas (Zhao *et al.*, 2005).

Hubo significancia en los parámetros de peso fresco y peso seco (Cuadro 1); siendo los mayores resultados los del T300, esto indica que una mayor densidad de peces puede incrementar significativamente estos parámetros. El peso fresco y seco del T300 es similar al reportado por Pineda-Pineda *et al.* (2018), en el cual obtuvieron pesos frescos y secos similares; sin embargo, el ancho de hoja fue inferior al de ellos, esto puede atribuirse a que usaron variedades de lechuga italiana Andrómeda y Ruby Sky y la morfología de las hojas es diferente. Por otra parte, el bajo resultado de peso fresco y peso seco del T150 se debe a que los parámetros de largo y ancho de hoja, así como área foliar, también fueron bajos, a causa de una baja concentración de nitrógeno (Zhao *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Comparación de medias de los parámetros medidos en la lechuga y de los efluentes de los sistemas acuapónicos.

Variable	Tratamiento T300	Tratamiento T150	Valor t	Valor p	Coeficiente de variación (%)
Longitud de hoja, (cm)	22.55±0.96a	18.56± 0.34b	-3.8332	0.0018	3.04
Ancho de hoja, (cm)	7.10±0.39a	4.27± 0.19b	-6.5002	0.0001	4.96
Peso fresco, (g)	311.20± 20.82a	106.69±7.65b	-9.2972	0.0001	6.93
Peso seco, (g)	22.38±1.92a	7.96±0.53b	-7.1865	0.0001	7.61
Área foliar, (cm ²)	66.39±5.56a	36.53±3.12b	-4.6470	0.0004	8.45
pH	8.13±0.015a	8.58±0.024b	15.1121	0.0001	0.22
OD, (mg L ⁻¹)	7.48±0.028a	8.64±0.012b	38.5909	0.0001	0.25
CE, (dS m ⁻¹)	0.55± 0.015a	0.67±0.005b	7.6525	0.0001	1.73
NO ₃ , (mg L ⁻¹)	0.04± 0.005a	0.22±0.007b	21.1677	0.0001	7.84

(Media ± error estándar). Las letras distintas en cada variable indican diferencias significativas, $p \leq 0.05$ altamente significativo)

Al inicio del experimento se observaron síntomas de deficiencia de nitrógeno (clorosis) en las hojas de ambos tratamientos, así mismo, después de cuatro semanas la supervivencia de las plantas de lechuga de los tratamientos de T150 y T300 fue del 70 y 80%, respectivamente. Esto pudo haber sido ocasionado por falta de suficientes nitratos en el sistema puesto que aún no había suficiente colonización y actividad bacteriana para asimilar el amonio y los nitritos provenientes de los desechos de los peces (Ronzón-Ortega *et al.*, 2012).

Al final del experimento la concentración media de nitratos en los tratamientos T150 y T300 fue de 0.22 y 0.04 mg/L (Cuadro 1). La menor concentración de nitratos en el tratamiento con mayor densidad de tilapia se debe a que durante el experimento se presentaron bacterias del género *Streptococcus* las cuales causaron muerte de los peces a causa de meningitis en las tilapias y una sobrevivencia del 60.43% no obstante, la cantidad de nutrientes permitió el desarrollo óptimo de las lechugas.

El pH promedio de los efluentes de los tratamientos durante el experimento fue de 8.58 y 8.13 para el T150 y T300, respectivamente (Cuadro 1). Los cuales se mantuvieron por encima del rango aceptable para la tilapia para su desarrollo óptimo el cual es de 7-8 (El-Sherif y El-Feky, 2009). Por otro lado, el pH de los efluentes se mantuvo alejado del rango aceptable para la lechuga (pH 5) (Roosta, 2011); sin embargo, su desarrollo no se vio limitado por este parámetro.

El oxígeno disuelto en el T150 y el T300 se mantuvieron en promedio en una concentración de 8.64 mg/L y 7.48 mg/L (Cuadro 1), ambas concentraciones de OD, estuvieron por encima de los 6-6.5 mg/L recomendados para mantener un rendimiento y salud adecuados para las tilapias (Abdel-Tawwab *et al.*, 2015). La concentración mínima de OD para el desarrollo adecuado de la lechuga es de 2.1 mgL⁻¹ (Goto *et al.* 1996), y en ambos tratamientos la concentración se mantuvo por encima de la requerida.

La conductividad eléctrica del T150 y del T300 durante el experimento se mantuvo en promedio en 0.677 dS m⁻¹ y 0.552 dS/m, respectivamente (Cuadro 1). De acuerdo con autores como Abou-Hadid *et al.* (1996) y Samarakoon *et al.* (2006) la CE del agua para el adecuado desarrollo de la lechuga debe mantenerse alrededor de 1–1.5 dS/m, de modo que los parámetros se mantuvieron por debajo de lo recomendado. De acuerdo con Iqbal *et al.* (2012), las tilapias pueden desarrollarse adecuadamente en aguas con una conductividad eléctrica de 6 dS/m, incluso se ha reportado un buen desarrollo de las tilapias en aguas con una concentración de 12.48 dS/m (Likongwe *et al.*, 1996).

La longitud final para el T150 y el T300 fue de 110 y 70 mm, respectivamente (Cuadro 2): Además, se puede observar que el T150 presentó una TC y una TEC superior al T300, es decir, una menor densidad de peces permitió que los peces tuvieran un mejor desarrollo, esto es debido a que a medida que aumenta la densidad de población disminuye la capacidad de aprovechamiento del alimento (Ntanzu *et al.*, 2014).

Cuadro 2. Tasa de crecimiento (TC) y tasa relativa de crecimiento (TEC) para longitud (L) y peso (P) de las tilapias.

Factor	Unidades	T150	T300
L inicial	Mm	30.50	30.50
L final	Mm	110	70
TC, (mm/día)		0.88	0.44
TEC	%/día	1.40	0.90
Sobrevivencia	%	70.22	60.43
P inicial	G	5	5
P final	G	26.87	23.30
TC	g/día	0.27	0.23
TEC	%/día	2.40	2.20

El peso final del T150 y T300 fue de 26.87 y 23.3 gr, respectivamente. La TC y la TEC al igual que en la longitud fue superior en el T150 con 0.27 g/día y 2.4%/día debido al mayor aprovechamiento del alimento en un ambiente con menor estrés por la baja densidad de población.

Al final del experimento la densidad final de peces para el T150 fue de 564.27 g y para el T300 fue de 582.5 g; sin embargo, es importante notar que en el T300 había más individuos que en el T150, por lo que una densidad de T300 se comportó mejor para producir los nutrientes que la lechuga necesitaba para desarrollarse de mejor forma.

CONCLUSIÓN

Los resultados de esta investigación muestran una mejora en el rendimiento agronómico del cultivo de lechuga para el T300 sobre el T150, además se demostró que la tasa de crecimiento y ganancia de peso de las tilapias del T150 fue superior al T300, lo que permite expresar que el sistema T300 es el más rentable para ser implementado para explotaciones a baja escala en Cd. Victoria, Tamaulipas que buscan la producción de lechuga sobre la de tilapia.

LITERATURA CITADA

- Abdel-Tawwab, M., A.E. Hagra, H.A.M. Elbaghdady and M.N. Monier. N. 2015. Effects of dissolved oxygen and fish size on Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.): growth performance, whole-body composition, and innate immunity. *Aquaculture International* 23:1261-1274. <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9882-y>
- Abou-Hadid, A.F., E.M. Abd-Elmoniem, M.Z. El-Shinawy and M. Abou-Elsoud. 1996. Electrical conductivity effect on growth and mineral composition of lettuce plants in hydroponic system. *Acta Horticulturae* 434:59-66.
- Aguilera-Morales, M.E., F. Hernández-Sánchez, E. Mendieta-Sánchez y C. Herrera-Fuentes. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. *Ra-Ximhai* 8:71-74.
- Álvarez-García, M., M. Urrestarazu, J.L. Guil-Guerrero and S. Jiménez-Becker. 2019. Effect of fertigation using fish production wastewater on pelargonium x zonale growth and nutrient content. *Agricultural Water Management* 223:105726. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105726>
- Diver, S. and L. Rinehart. 2006. Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service. USA. 28 p.
- Diver, S. L.D. Rinehart, R.W. Langhans and A.R. Leed. 1996. Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics. *Acta Horticulturae* 440:205-210.
- Eck, M., O. Korner and M.H. Jijakli. 2019. Nutrient cycling in aquaponics systems. In: Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B. and Burnell, G. M. (Eds). *Aquaponics food production systems*. Switzerland. Springer. Pp. 231-246. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_9
- El-Sayed, A-F.M. 2006. Tilapia culture. Oxfordshire, CABI Publishing. 277 p.
- El-Sherif, M.S. and A.M.I El-Feky. 2009. Performance of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. I. Effect of pH. *International Journal of Agricultura and Biology* 11:297-300.
- Goto, E., Both, A. J., Albright, LD., Langhans, R. W. and Leed, A. R. 1996. Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics. *Acta Horticulturae* 440:205-210.
- Hussain, T., A.K. Verma, V.K. Tiwari, C. Prakash, G. Rathore, A.P. Shete and K.K.T. Nuwansi. 2014. Optimizing koi carp (*Cyprinus carpio*) var. Koi (Linnaeus, 1758), stocking density and nutrient recycling with spinach in an aquaponic system. *Journal of the World Aquaculture Society* 45:652-661. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735993>
- Iqbal, K.J., N.A. Quireshi, M. Ashraf, M.H.U. Rehman, N. Khan, A. Javid, F. Abbas, M.M.H. Mushtaq, F. Rasool and H. Majeed. 2012. Effect of different salinity levels on growth and survival of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *The Journal of Animal & Plant Sciences* 22:919-922.
- Jung-Yuan, L. and C. Yew-Hu. 2013. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85:693-700. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.03.029>
- Ladino-Orjuela, G. 2011. Dinámica del carbono en estanques de peces. *Orinoquia* 15:48-61.
- Ladrón, G., V.R., S.C. Quiróz, P.J.C. Acosta, A.L.A. Pimentel y R.E.I. Quiñones. 2004. Hortalizas, las llaves de la energía. *Revista Digital Universitaria* 5:1-30.

- Likongwe, J.S., T.D. Stecko, J.R. Stauffer and R.F. Carline. 1996. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture* 146:37-46.
- Love, D.C., J.P. Fry, X. Li, E.S. Hill, L. Genello, K. Semmens and R.E. Thompson. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquac.* 435:67-74.
- Maucieri, C., C. Nicoletto, G. Zanin, M. Birolo, A. Trocino, P. Sambo, M. Borin and G. Xiccato. 2019. Effect of stocking density of fish on water quality and growth performance of European Carp and leafy vegetables in a low-tech aquaponic system. *Plos One* 14:1-15. DOI:10.1371/journal.pone.0217561
- Muñoz, G.M.E. 2012. Sistemas de recirculación acuapónicos. *Informador técnico* 76:123-129.
- Ntanzi, R., G. Bwanika and E. Gasper. 2014. The effects of stocking density on the growth and survival of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry at son fish farm, Uganda. *Journal of Aquaculture Research and Development* 5:222. DOI: 10.4172/2155-9546.1000222
- Pineda-Pineda, J., A. Valdez-Zamora, I. Miranda-Velázquez, J.E. Rodríguez-Pérez, J.A. Ramírez-Arias and A. Lozano-Toledano. 2018. Yield of two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in hydroponic and aquaponic systems. *Acta Horticulturae* 1227:347-354. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.43>
- Rakocy, J.E., M.P. Masser and T.M. Losordo. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. United States of America. Southern Regional Aquaculture Center. 16 p.
- Ramírez, D., D. Sabogal, P. Jiménez y G.H. Hurtado. 2008. La acuaponia: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 4:32-51.
- Ríos, R. 2012. Cartilla Práctica para el Cultivo de Tilapia (*Oreochromis* sp.). Panamá. Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá (ARAP). 31 p.
- Ronzón-Ortega, M., M.P. Hernández-Vergara y C.I. Pérez-Rostro. 2012. Producción hidropónica y acuapónica de albahaca (*Ocimum basilicum*) y langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15:s63-s71.
- Roosta, H.R. 2011. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese, and zinc concentrations in lettuce. *Journal of Plant Nutrition* 34:717-731.
- Samarakoon, U.C., P.A. Werasinghe and W.A.P. Weerakkody. 2006. Effect of electrical conductivity [EC] of the nutrient solution on nutrient uptake, growth and yield of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) in stationary culture. *Tropical Agricultural Research* 18:13-21.
- Secretaría de Economía (SE). 2001. NMX-AA-079-SCFI-2001. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/DO88.pdf>. (10/05/2020).
- Somerville, C., M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus and A. Lovatelli. 2014. Small-scale aquaponics food production. Italy. Food and agriculture organization of the United Nations (FAO). 262 p.
- Zhao, D., K.R. Reddy, V.G. Kakani and V.R. Reddy. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy* 22:391-403.