



Artículo original

Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia

Aquaponic system growth of lettuce, *Lactuca sativa*, with tilapia farming effluents

Edinson W. Moreno Simón y Alina Zafra Trelles

¹Tesista, Escuela AP de Pesquería. Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Trujillo. Perú. ²Departamento de Pesquería. UNT.

RESUMEN

Se determinó el crecimiento de *Lactuca sativa* "lechuga" con efluentes de cultivo de tilapia. La investigación se realizó en un sistema acuapónico de cinco tubos de PVC con capacidad de 50 lechugas, usando la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT). Se evaluaron dos tratamientos; T1: agua enriquecida con 50 individuos de tilapia roja, *Oreochromis* sp., y T2: agua enriquecida con 25 individuos de tilapia roja, registrando los datos de longitud de hoja (HH) y longitud de raíz (HR) de lechugas, con una frecuencia de muestreo quincenal por 90 días de cultivo en cada tratamiento. En el T1 se obtuvo un HH de 16,6 cm y HR de 16,4 cm mientras que en T2 la HH fue 11,1 cm y HR 16,3 cm. Además la tasa de crecimiento y tasa específico de crecimiento (TC y TEC) fue mayor en el T1 en hoja (0,15 cm/día; 1,98 %/día) como en raíz (0,16 cm/día; 2,45 %/día) asimismo se obtuvo el mayor crecimiento en peso fresco total (PFt) y peso fresco económico (PFe) registrándose valores promedio de 118,20 g/ planta y 94,40g/ planta respectivamente y también una rentabilidad de 2,261 kg/ m², esto posiblemente a la influencia de la temperatura ambiente y al pH. Se encontró diferencia significativa entre la longitud de hoja y el peso fresco total pero no para longitud de raíz entre los tratamientos. Se concluye que el T1 obtuvo mayor crecimiento de *L. sativa* en sistema acuapónico.

Palabras clave: Acuicultura, hidroponía, acuaponía, NFT, *Lactuca sativa*, tilapia.

ABSTRACT

The growth of *Lactuca sativa* "lettuce" with tilapia culture effluents was determined. The research was conducted in an aquaponic system of five PVC pipes with capacity of 50 lettuces, using the technique of recirculating nutrient solution (NFT). Two treatments were evaluated; T1: water enriched with 50 individuals of *Oreochromis* spp. "red tilapia" and T2: water enriched with 25 individuals *Oreochromis* spp., recording length data sheet (HH) and root length (HR) of lettuce, with a sampling frequency biweekly for 90 days of culture in each treatment. T1 in an HH of 16,6 cm and 16,4 cm HR was obtained while in the HH T2 was 11,1 cm and 16,3 cm HR. In addition the growth rate and specific growth rate (TC and TEC) was higher in the leaf T1 (0,15 cm / day; 1,98% / day) and roots (0,16 cm / day, 2, 45% / day) also the largest growth in total fresh weight (PFt) and fresh economic weight (PFe) was obtained recorded average values of 118,20 g / plant and 94,40 g / plant, respectively, and also a return of 2,261 kg / m², this possibly under the influence of the ambient temperature and the pH. Significant difference between the length and the total leaf fresh weight but not root length was found between treatments. We conclude that the T1 scored higher growth of *L. sativa* in aquaponic system.

Keywords: Aquaculture, Hydroponics, aquaponics, NFT, *Lactuca sativa*, tilapia.

INTRODUCCIÓN

La acuaponía es una actividad tecnológica en la cual los desechos orgánicos producidos por el alimento no consumido y por heces y orina de los organismos acuáticos en cultivo se convierten, mediante la acción bacteriana, en nitratos que sirven como fuente de nutrientes para el crecimiento de las plantas, lo que a su vez mejora significativamente la calidad del agua actuando como un filtro biológico, al grado de que puede reintegrarse a los sistemas acuáticos^{1,2,3}.

Un sistema acuapónico utiliza tres tipos de técnicas para el crecimiento de las plantas: (i) sistema de solución nutritiva recirculante (SNFT), (ii) sistema de raíces flotantes y (iii) sistema de camas de grava⁴. El sistema SNFT consiste en generar una circulación constante de una lámina delgada de solución nutritiva que fluye a través de las raíces del cultivo; no existe pérdida o salida al exterior, por lo que se considera un sistema cerrado; asimismo, consta de un tanque para el cultivo de peces, un clarificador o filtro de sólidos, biofiltro y de cama(s) de crecimiento para plantas, sistema de bombeo de agua y sistemas de aireación interconectados de tal forma, que el agua rica en nutrientes pasa del tanque de peces al clarificador, donde se eliminan la mayor parte de partículas disueltas, tanto grandes como pequeñas^{1,4,6,7}. Después de pasar por el clarificador el flujo pasa al biofiltro, el cual tiene una gran superficie que le permite alojar una gran cantidad de bacterias que convierten el amonio en nitrito (*Nitrosomonas*) y otras (*Nitrobacter*) que convierten el nitrito en nitrato, fenómeno de mucha utilidad en cultivos porque tanto el amonio como los nitritos son altamente tóxicos^{8,9}. Por lo tanto, las plantas capaces de aprovechar ventajosamente los nitratos, como es el caso de la lechuga, resultan de mucha utilidad⁴.

Oreochromis niloticus “tilapia”, *Oreochromis* sp. “tilapia roja” *Dicentrarchus labrax* “róbalo”, *Salvelinus alpinus* “salvelino” y *Perca fluviatilis* “perca” son especies de peces adaptadas al SNFT de las cuales, la tilapia es la que ha dado mejores resultados gracias a su adaptabilidad a los cambios en las condiciones del agua: temperatura entre 20 y 30°C, pH entre 6,5 a 9,0 y requerimiento de oxígeno, ser mayor a 4 mg/L^{9,10,11}, hecho que la ha convertido en una de las especies más importantes en el mundo en cuanto a producción acuícola. Por su lado, debido a sus requerimientos nutricionales de bajos a medianos, la lechuga, albahaca, escarola, espinaca, perejil, orégano, cebollas, tomates, pimientos y pepinos se desarrollan mejor en SNFT¹⁰.

La lechuga es uno de los cultivos hortícolas más importantes: presenta ciclo corto, (alrededor de 45 a 50 días en invernadero), a temperatura entre 14 y 24°C y pH de 6,8 a 5,0¹². Nutricionalmente aporta vitamina A, calcio, hierro, magnesio, fósforo y potasio¹³ y ha sido estudiada en forma intensiva en sistemas acuapónicos¹⁴.

Con el propósito de evaluar la eficiencia del sistema acuapónico en Veracruz (México), se comparó el crecimiento de las plantas versus un cultivo hidropónico de riego por goteo, en un sistema integrado por *Lycopersicon pimpinellifolium* “tomate cherry” y por *Oreochromis niloticus* “tilapia” y *Cherax quadricarinatus* “langosta australiana” y se obtuvo que la incorporación de un sistema acuapónico al cultivo acuícola no afecta en su desempeño productivo de las especies acuícolas y que las plantas acuapónicas tuvieron un crecimiento constante pero a una menor velocidad en comparación con las del cultivo hidropónico³. En Colombia, por su lado, se evaluó un sistema acuapónico de *Carrasius auratus* “goldfish” y *Lactuca sativa* “lechuga” observándose un bajo crecimiento en peces pero una supervivencia del 80% en cuanto al crecimiento de la lechuga fue menor en los sistemas acuapónicos¹⁵ y en Honduras investigaron el efecto de dos tratamientos de agua en la producción de *Lactuca sativa* “lechuga” bajo dos sistemas hidropónicas en piscicultura: SNFT y raíces flotantes con dos niveles de fertilización de agua con nitrato de sodio, alcanzando en tratamiento NFT- fertilizado una mayor altura a diferencia de los otros tratamientos¹⁶.

En el Perú las investigaciones mayormente se desarrollan en hidroponía, dejándose de lado, hasta ahora, la acuaponía que, como se ha señalado presenta ciertas ventajas respecto de la anterior. En base a ello se planteó una investigación dirigida a determinar el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” con efluentes de cultivo de tilapia, considerando la longitud de hoja y la longitud de la raíz, ganancia de peso fresco total, peso fresco económico y rentabilidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se realizó de agosto 2013 a febrero 2014, en el Laboratorio de Maricultura de la Escuela Académico Profesional de Pesquería, Trujillo- Perú. Para la construcción del sistema acuapónico se utilizó un tanque de 500 L de capacidad, 0,93 m de diámetro y 0,80 m de altura, una bomba de recirculación modelo WP-5000 de 60 W de potencia, altura máxima de 3 m y un caudal de 3000 L/ H instalada en el centro del tanque y conectada con 3 m de manguera transparente de 3/4 θ a un filtro artesanal ubicadas fuera del tanque compuesto por un tanque de 50 L y se conectó al modelo NFT (técnica de solución nutritiva recirculante) el cual estuvo compuesto por cinco tubos de PVC de 3" θ y 1.5 m con capacidad para 10 lechugas/tubo.

Además, se construyó un filtro artesanal con un balde de 20 L de capacidad, compuesto por dos capas, la primera tuvo acción biológica conformada por 10 esponjas de 10 x 10 x 4 cm alrededor de toda la superficie las cuales se cambiaron para cada tratamiento, que sirvió como sustrato a las bacterias nitrificantes las cuales promovieron la nitrificación. La segunda capa tuvo acción mecánica conformado por 10 kg de grava, cuya función fue la de retener los residuos sólidos generados por la excreción y resto de alimento de los peces la cual era lavada semanalmente.

El filtro artesanal conformado por un balde de 20 L se colocó en el interior de un tanque de 50 L por bioseguridad el cual estuvo a una altura de 1,30 m, estuvo conectado a una bomba sumergible de recirculación mediante una manguera de 3/4 Θ . La salida del agua filtrada se realizó a través de un tubo de PVC de 3/4" conectada con una llave de agua, para manejar el caudal y no rebalse esta se conectó al modelo NFT.

Para la construcción del modelo de técnica de solución nutritiva recirculante (NFT), se utilizaron cinco tubos de PVC de 3" de θ , de 1,50 m cada uno, los cuales fueron perforados a una distancia de 0,10 m utilizando un taladro percutor de marca Black & Decker y una cierra circular de acero de 2" de θ y dispuestos a 0,10 m de distancia entre cada uno de los tubos, formando una área de 1,08 m².

Con respecto a la obtención de las plántulas de lechuga, la semilla de *L. sativa* fue adquirida de Agropecuaria HORTUS S.A., la siembra se realizó en un depósito de plástico con un área de 0,42 m² conformado por arena gruesa cernida con malla de 1/2 cm a fin de eliminar la arena fina y desinfectada durante dos horas en 2 L de agua con 25 ml de lejía enjuagando con agua varias veces la arena hasta que quede sin olor a cloro. Las semillas se hicieron germinar en surcos de 0,5cm de profundidad a una distancia de 3cm a fin de facilitar el manejo y manipulación en el trasplante. El semillero se regó dos veces por día para su germinación. Fue trasplantada al sistema NFT a los 15 días cuando tenía una longitud promedio de hoja de 2,65 cm y 1,9 cm de longitud de raíz.

En la ubicación de las plantas en el sistema se usaron vasos de plástico sin base para colocar la planta de lechuga con las raíces envueltas con esponja dejándola expuesta en la parte inferior, luego se ubicaron en cada orificio de los tubos, de modo que el agua filtrada del tanque de peces humedezca la raíz constantemente. La biometría de *L. sativa* "lechuga" se realizó quincenalmente, registrando la longitud de hoja (HH) y longitud de raíz (HR) usando una cinta métrica.

Se calculó la tasa de crecimiento y la tasa específico de crecimiento de las lechugas para cada tratamiento:

Tasa crecimiento (cm/día):

$$TC = \frac{(\text{longitud final} - \text{longitud inicial})}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

Tasa específico de crecimiento (%/día):

$$TEC = \frac{(\text{Ln}(\text{longitud final}) - \text{Ln}(\text{longitud inicial}))}{\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial}}$$

Dónde: Ln = Logaritmo natural

Al final del cultivo de cada tratamiento se seleccionaron al azar 5 plantas de lechuga, las cuales fueron pesadas en una balanza de 1g de sensibilidad marca KDC. Se expresó en gramos de peso fresco

total por planta. A las mismas plantas se retiró el sistema radicular realizando un corte a nivel del cuello de la planta y las hojas externas cuando estas presentaban daño mecánico se tomó el peso fresco económico y se expresó en gramos de peso fresco económico por planta. Asimismo, a todas las plantas al finalizar el cultivo se les retiró el sistema radicular y se obtuvo el peso total para obtener la rentabilidad que se expresó en Kg/m².

Finalmente el sistema para la crianza de *Oreochromis spp* “tilapia roja” estuvo conformado por 75 ejemplares de cuatro meses de edad con una longitud variable entre 11 a 19 cm con un peso entre 27 y 103 g, un tanque de 500 L de capacidad y se llenó un volumen de 250 L, cada semana se repuso de 25 a 50 L equivalentes al 10 y 20% respectivamente.

Se utilizaron dos tratamientos con densidades T1= 50 individuos y T2= 25 individuos.

T1 = 50 tilapias para el crecimiento de 50 lechugas, una proporción 1:1

T2 = 25 tilapias para el crecimiento de 50 lechugas en una proporción de 0,5:1

Los tratamientos se realizaron de forma consecutiva, el primero (T1) de Agosto 2013 - Octubre 2013 y el segundo (T2) de Noviembre 2013 - Enero 2014. A las tilapias se les alimentó con alimento pelletizado de 42 % de proteína, con una tasa de alimentación (TA) del 3% y una frecuencia de alimentación de dos veces al día.

En el proceso de la crianza de tilapia también se evaluó la cantidad de alimento (C.A.) (Baltazar y Palomino, 2004), se determinó mensualmente para la crianza de *Oreochromis spp* “tilapia roja” en sistema acuapónico.

$$CA = B * TA * d$$

Donde: B= biomasa (g), TA= tasa de alimentación (%) y d= número de días

Entre los Parámetros de cultivo se registró diariamente datos de temperatura ambiente y temperatura del agua (10:00 am y 4:00 pm) usando un termómetro marca BRIXCO de 1°C de sensibilidad; asimismo quincenalmente se tomó información referente a pH empleándose un pHmetro marca WATERPROOF.

Una vez que se recopiló la información estas fueron introducidas a una hoja electrónica en el programa Microsoft Excel 2013. Con ello se realizaron análisis de varianza con el fin de determinar diferencias significativas en el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en el sistema acuapónico.

RESULTADOS

En la experimentación sobre el sistema acuapónico del crecimiento de *L. sativa* con efluentes de cultivo de tilapia en el T1 se obtuvo una longitud de hoja de 2,8 cm a los quince días y de 16,6 cm a los 90 días a diferencia del crecimiento de la raíz que inició con 1,8 cm y alcanzó 16,4 cm a los tres meses de cultivo (Tabla 1).

Al comparar la longitud de la hoja con la de la raíz estas fueron similares a los 30 días de cultivo y luego la longitud de la raíz es mayor a los 45 y 60 días con respecto a la longitud de la hoja con 2 a 3 cm mayor con respecto al de las hojas, pero son similares a los 90 días (Fig. 1).

En el T2 se obtuvo una longitud de hoja de 2,5 cm a los quince días y de 11,1 cm a los 90 días a diferencia del crecimiento de la raíz que inició con 2 cm y alcanzó 16,3 cm a los tres meses de cultivo (Tabla 2). Con la proporción de 0,5:1 la longitud de la hoja fue menor al de la raíz que fue mayor durante 30 a 90 días, la longitud de la hoja fue constante en 12 cm a los 45, 60 y 75 días (Fig. 2).

Al comparar el crecimiento promedio de longitud de hoja de la lechuga entre los tratamientos se obtuvo que en T1 se observa un crecimiento exponencial de *L. sativa* que se logró entre los 30 a los 90 días. Mientras que en T2 el crecimiento se mantuvo constante en el periodo de 45 a 90 días (Fig. 3).

Al comparar el crecimiento promedio de longitud de raíz entre los tratamientos observamos que ambos llegan a una longitud similar de 16,3 y 16,4 cm. En la longitud de la raíz de T2 se mantuvo el crecimiento en 16 cm a partir de los 45 días hasta los 90 días de cosecha. En comparación al T1 que se observa un crecimiento de la raíz mayor en 6 cm en el mismo tiempo además se observa un crecimiento exponencial hasta los 60 días, para finalmente obtener 0,1cm mayor que el T2 (Fig. 4).

Teniendo en cuenta el crecimiento en longitud de hoja y de raíz para *L. sativa*, se muestra que durante los dos tratamientos, la tasa de crecimiento y la tasa de crecimiento específico fue mayor en el tratamiento 1, siendo 0,15 cm/día = HH y 0,16 cm/día = HR y 1,98 %/día y 2,45%/día respectivamente (Tabla 3).

Al finalizar el cultivo la ganancia de peso fresco total promedio por lechuga en el tratamiento 1 fue 118,20 g siendo mayor que el tratamiento 2. El peso fresco económico promedio por lechuga en el tratamiento 1 fue de 94,4 g no siendo considerado para el T2 ya que presentó un crecimiento del tallo floral y acumulación de latex en el tallo, que hace amargo el sabor de sus hojas, deteriorando su calidad y no llegando a nivel comercial (Tabla 4).

En relación a la cantidad de alimento, cantidad de alimento diario y cantidad de alimento disponible por planta, estos fueron mayores en el T1. Asimismo la tasa de alimentación se mantuvo en 3% para ambos tratamientos (Tabla 5).

Con relación a los parámetros fisicoquímicos durante la investigación, T1 los valores de temperatura ambiente oscilaron entre 20 a 24°C y temperatura del agua valores de 18,4 a 20°C para el T2 los valores de temperatura ambiente oscilaron entre 25,5 a 27°C y temperatura del agua valores de 19,5 a 22,2°C, siendo los meses más calurosos e influyentes en el crecimiento y calidad de *L. sativa*. Los valores de pH presentaron oscilaciones pero en ambos tratamientos estuvieron entre 7,5 y 8,0 influyendo en la disponibilidad de nutrientes (Tabla 6).

Del cultivo de lechuga en acuaponía en el tratamiento 1 se obtuvo una rentabilidad de 2,261 kg/m² y en el T1 se observó que a los 90 días las lechugas desarrollaron mayor longitud de la hoja y su crecimiento fue uniforme presentando un color de hojas verde intenso, lo que refleja un la disponibilidad de nutrientes en el sistema acuapónico (Fig. 1).

Tabla 1. Valores promedio de longitud de hoja HH (cm) y longitud de raíz HR (cm) de *Lactuca sativa* “lechuga” en sistema acuapónico de Agosto 2013 a Octubre 2013.

Meses	Tratamiento 1		
	Tiempo (días)	Longitud de Hoja HH (cm)	Longitud de Raíz HR(cm)
Agosto	15	2,8	1,8
	30	5,2	5
Septiembre	45	7,5	10,4
	60	9,6	12
Octubre	75	12,4	11
	90	16,6	16,4

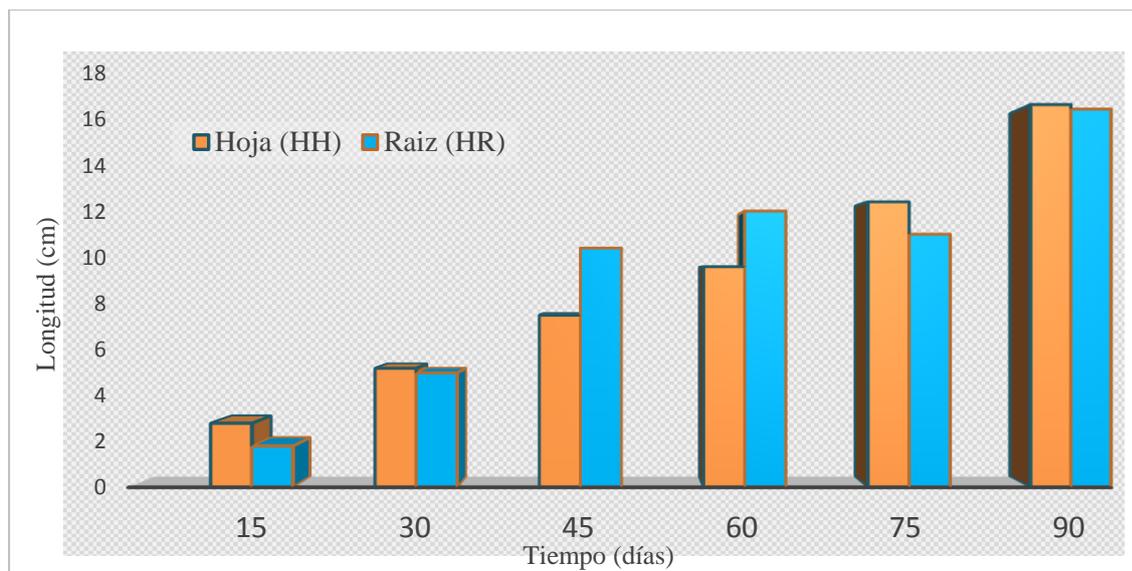


Fig. 1. Crecimiento de *L. sativa* “lechuga” en el tratamiento 1 con un efluente de 50 tilapias en una proporción de 1:1.

Tabla 2. Valores promedio de longitud de hoja HH (cm) y longitud de raíz HR (cm) de *Lactuca sativa* “lechuga” en sistema acuapónico de Noviembre 2013 a Enero 2014.

Meses	Tratamiento 2		
	Tiempo (días)	Longitud de Hoja HH (cm)	Longitud de Raiz HR (cm)
Noviembre	15	2,5	2
	30	8,9	10,9
Diciembre	45	11,5	16,2
	60	12	16,1
Enero	75	12	16,3
	90	11,1	16,3

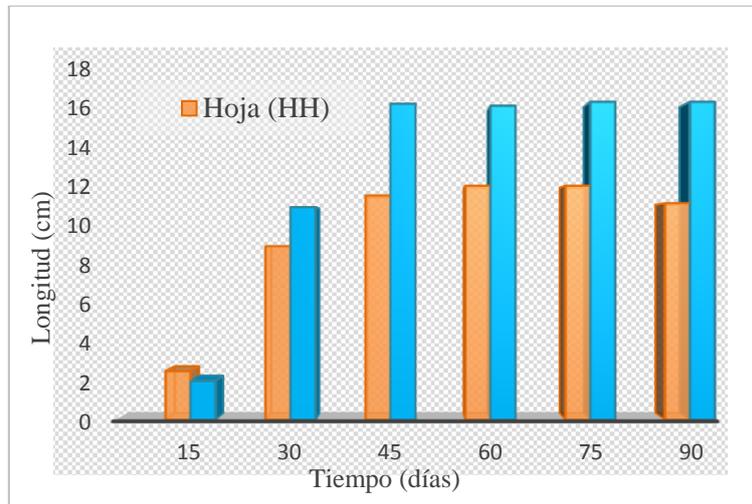


Fig. 2. Crecimiento de *L. sativa* “lechuga” en el tratamiento 2 con un efluente de 25 tilapias en una proporción 0,5:1

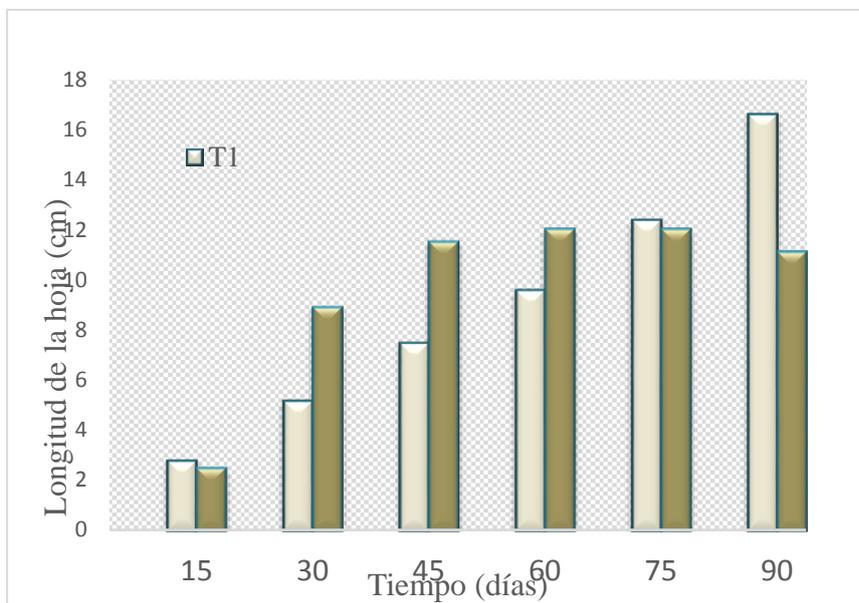


Fig. 3. Crecimiento de longitud de hoja de *Lactuca sativa* “lechuga” en el Sistema acuapónico.

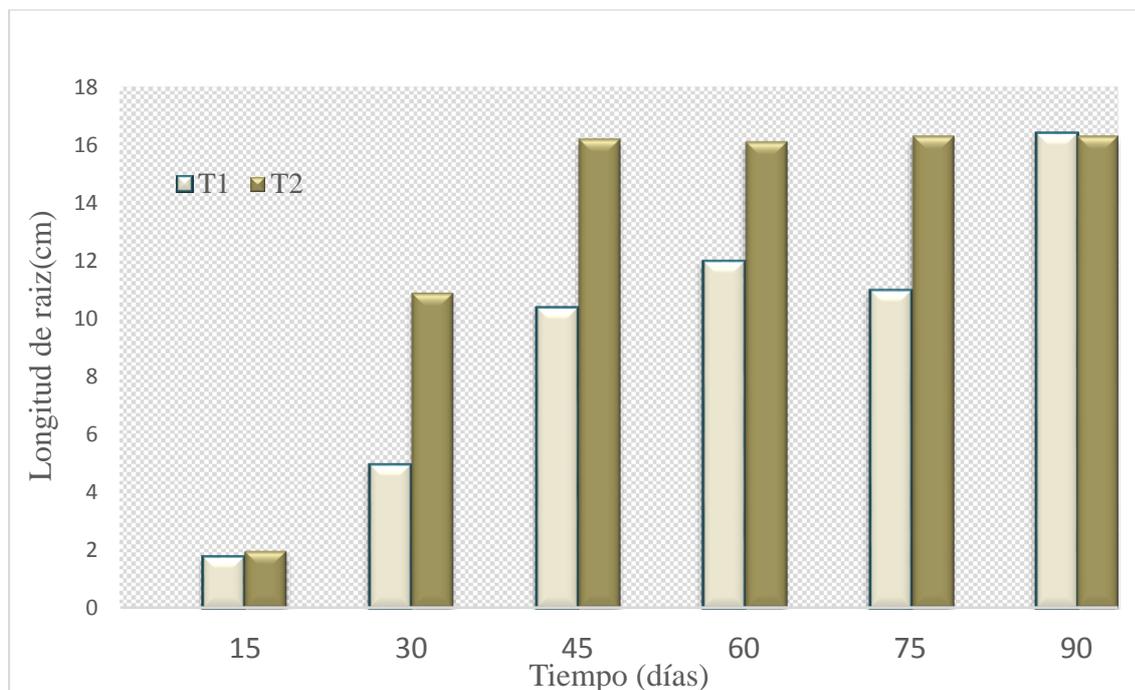


Fig. 4. Crecimiento de longitud de raíz de *Lactuca sativa* “lechuga” en el Sistema acuapónico.

Tabla 3. Tasa de crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en sistema acuapónico.

TRATAMIENTO	TC (cm/día)		TEC (%/día)	
	longitud de hoja (HH)	longitud de raíz (HR)	longitud de hoja (HH)	longitud de raíz (HR)
1	0,15	0,16	1,98	2,45
2	0,10	0,16	1,66	2,33

Tabla 4. Comparación de valores de peso fresco total y peso fresco económico de *sativa* “lechuga” en sistema acuapónico.

	TRATAMIENTO 1		TRATAMIENTO 2	
	Peso fresco total (g)	Peso fresco económico (g)	Peso fresco total (g)	Peso fresco económico (g)
	140	115	131	-
	139	112	75	-
	137	118	63	-
	104	81	48	-
	71	46	32	-
PROMEDIO	118,20	94,40	69,80	-

Tabla 5. Biomasa (g) y Parámetros alimenticios: tasa de alimentación (%), cantidad de alimento (C.A), cantidad de alimento diario y cantidad de alimento por planta, durante el cultivo acuapónico con *Oreochromis spp.*, Tratamiento 1 (Agosto 2013 – Octubre 2013) y tratamiento 2 (Noviembre 2013 – Enero 2014).

TRAT.	MESES	Biomasa (g)	T.A (%)	C.A (g)	C.A (g)/día	C.A (g)/planta
1	Agosto	2419	3	2250	73	1.5
	Setiembre	2675	3	2408	78	1.6
	Octubre	2920	3	2716	88	1.8
		3181				
	TOTAL			7374		
2	Noviembre	1110	3	999	33	0.7
	Diciembre	1235	3	1149	37	0.7
	Enero	1336	3	1270	41	0.8
		1504				
	TOTAL			3418		

Tabla 6. Variación de la temperatura promedio del ambiente (°C), temperatura promedio del agua (°C) y pH en sistema acuapónico de Agosto 2013 – Abril 2014.

TRAT.	MESES	Temperatura promedio ambiental (°C)	Temperatura promedio del agua (°C)	pH
1	Agosto	20	18,4	7,4
	Setiembre	20,4	18,6	7,5
	Octubre	24	20	7,5
2	Noviembre	25,5	19,5	7,6
	Diciembre	26,6	21,6	7,8
	Enero	27	22,2	7,8



Fig. 5. *Lactuca sativa* en el sistema acuapónico a los 90 días (Noviembre 2013 –Enero 2014).

DISCUSIÓN

La acuaponía ha sido utilizada con similares diseños de diferente capacidad, en esta investigación para el cultivo de lechuga se trabajó con un técnica de solución nutritiva recirculante (NFT), que entre sus bondades se tuvo la practicidad de su instalación, la versatilidad para su armado, mayor densidad de plantas, mayor rendimiento; al mismo tiempo, al ser tan delgada la película de agua que fluye por los tubos, este siempre se encontrara bien oxigenada y que al salir caigan por desnivel integrándose al tanque de los peces permitiendo también su oxigenación¹⁷.

Caló¹¹, respecto a la filtración del agua de los peces, menciona que para una mejor productividad de un sistema acuapónico se debe filtrar el agua del tanque de peces antes de utilizarlo como fertilizante para las plantas, es por eso que se diseñó un filtro artesanal para el cual se utilizó un filtro mecánico que van a ayudar a remover las excretas y el alimento no consumido de los peces, los sólidos en suspensión ya que estos pueden obstruir las raíces de las plantas y un filtro biológico, dando una superficie de contacto para las bacterias nitrificantes, responsables de la nitrificación. Hay diversos materiales que pueden ser utilizados para diseñar un filtro artesanal, en esta investigación se utilizó graba y esponja, a diferencia de otras investigaciones en las cuales utilizaron bolas plásticas, malla plástica, perlón, espuma y arcilla^{19,20}.

El crecimiento de lechuga cultivada en el sistema acuapónico con el SNFT obtuvo un mayor crecimiento con un efluente fertilizado con 50 tilapias, aunque menor a lo reportado por Cáceres²⁰ que obtuvo, en el mismo tiempo de cultivo y con el mismo número de tilapias, un crecimiento en longitud de hoja de en 25,78 cm y de 30,81 cm de longitud de raíz. Esto se puede deber al modelo de filtro utilizado, ya que se desarrollaron las bacterias nitrificantes las que van a influir en los niveles de nutrientes disponibles y al sistema acuapónico, que también trabajo con la técnica NFT pero el diseño del sistema fue diferente al utilizado en esta investigación.

En relación al rendimiento en peso fresco económico de lechuga logrado en el primer tratamiento (2,261 kg/m²) se considera bajo si se compara con el rendimiento para producciones acuapónicas (4,9 kg/m²) obtenido por Rakocy²¹, aunque mayor a los obtenidos por Grande y Luna²² (2,03 kg/m³) y por Castañeda y Cabrera²³ (1,56 kg/m²).

En cuanto a la proporción de las lechugas en el sistema acuapónico diseñado, fue de 50 lechugas/ m² para los dos tratamientos empleando la técnica NFT lo cual difiere de Grande y Luna (2010) quienes trabajaron 6, 12 y 18 lechugas/m² trabajando también con tilapia. De las dos densidades trabajadas en esta investigación la densidad de 50 tilapias para el crecimiento de 50 lechugas, con una proporción 1:1 fue la que dio mejores resultados aunque Cáceres²⁰ en su investigación utilizando el mismo sistema trabajo una proporción 1.7: 1 obteniendo en el mismo tiempo de cultivo mejores resultados en longitud de hoja 25,78 cm y longitud de raíz 30,81 cm pero no en el peso fresco total promedio por planta que fue 90,49 g.

Respecto a la cantidad de alimento diario disponible para el sistema esta fue de 73 g-88 g en el primer tratamiento y 33 g-41 g en el segundo, de los cuales, el primero se encuentra por encima de lo

sugerido por Rakocy¹⁷ que recomienda suministrar 60 g de alimento para vegetales sin fruto en sistemas de cama flotante asegurando que con esta cantidad de alimento se garantiza los nutrientes necesarios para la producción del binomio tilapia-lechuga/m². Esto depende de las densidades con las que se trabaje, del tipo de alimento, del % de proteína y la especie a cultivar¹. Por esta dependencia es necesario manejar una buena relación entre el número de plantas, y la cantidad de peces; como mínimo se recomienda tener un pez por cada 1,9 plantas, procurando asegurar que como mínimo se reciban 2,4 g de alimento por cada planta²¹. En esta investigación estuvo en un rango de 0,8 a 1,5 g/planta siendo superior para el primer tratamiento.

A los productos producidos en acuaponía se les considera como “productos orgánicos” por no emplear uso de químicos como plaguicidas y fertilizantes, además de aprovechar el alimento no consumido por los peces, ya que un 20 a 30% se este se metaboliza e incorpora como tejido muscular²⁴, mientras que el 60 a 70 % restante es alimento diluido y excreción, estos a través de la filtración consiguiendo en esta la reducción del amonio y amoniaco producido por los peces para ser utilizado como fuente de nutrientes para cultivar plantas comerciales²¹.

Por el análisis de varianza (ANAVA), queda demostrado que si existe diferencia significativa entre las longitudes promedio de la hoja entre ambos tratamientos, pero no en la longitud promedio de raíz esto se puede deber a la temperatura en que se desarrolló el T1 que estuvo en un rango de 20,0 – 24,0 °C y el tratamiento T2 entre 25,5 – 27,0 °C, siendo mayor que el tratamiento T1. Se ha reportado que el cultivo de lechuga es típico de climas templados pero también se desarrolla en climas cálidos, por lo que se puede cultivar entre temperaturas de 14 y 24 °C y existen diferentes factores que influyen en el desarrollo del tallo floral: características genéticas, endurecimiento de la planta en primeros periodos de cultivo, fotoperiodos largos, elevadas temperaturas, sequía en el suelo y exceso de nitrógeno²⁵.

El alimento de las tilapias es la fuente de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) al agua; sin embargo, aprovechan sólo el 30 % del total de N y P de su dieta y la diferencia termina en el agua y es disponible para las plantas cultivadas en acuaponía²¹. Al comparar la longitud de hoja entre ambos tratamientos, se encuentra que creció más con el efluente fertilizado de mayor densidad de tilapia por lo que se asumió que el agua recirculada tuvo más nutrientes.

La longitud de la raíz en ambos tratamientos fue menor a comparación de lo reportado anteriormente que se consiguió en 49 días de cultivo un longitud de raíz de 25 cm y en 90 días 30,81 cm^{16,20}, esto se puede atribuir a la materia orgánica que se fijó en ellas al pasar el efluente filtrado al sistema SNFT, esta impedía la difusión de oxígeno que al acumularse en la raíz causando el desprendimiento de las mismas, el caudal pudo haber estimulado el desprendimiento de las raíces en la.

El caudal en el SNFT usados variaron entre 2,4 L/min y 8 L/ min. La diferencia entre estos caudales pudo tener efecto en el desarrollo de las lechugas pero el valor promedio de cada variable estudiada aumenta conforme pasa el tiempo, por lo que se considera el flujo de agua no influyo en el desempeño de las mismas, si no se asume a la absorción de los nutrientes por las raíces de la lechuga que se vio perjudicada por la materia orgánica acumulada en ellas. Por lo que se considera la utilización del SNFT para una buena oxigenación en acuaponía¹⁶.

Entre los parámetros más importantes en cultivos acuapónicos está el pH, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la nitrificación, encontrándose rangos entre 7,4 a 7.8 superando a lo encontrado por Cáceres²⁰ cuyos valores se encuentran entre 6,1 a 6,3 (Sistema acuapónico con filtro) y 5,2 a 6,0 (Sistema acuapónico sin filtro). Asimismo, sobrepasa a lo recomendado por Nelson¹ que indica un pH de 7 garantiza un funcionamiento correcto. Sin embargo, se ha propuesto que en un sistema acuapónico el pH debe mantenerse por encima de 7,0 para promover la nitrificación²⁶. La oscilación de pH muestra cómo ha ido variando la capacidad de absorción de la lechugas con la disponibilidad de nutrientes, ya que nutrientes esenciales como: hierro, manganeso, cobre, zinc y boro que se encuentran menos disponibles para las plantas con un pH mayor de 7,5; mientras que la solubilidad de fósforo, calcio, magnesio, disminuye en plantas con pH igual a 6¹⁷. Asimismo, se ha indicado que la nitrificación puede ocurrir en rangos de 6 a 9 de pH, con una temperatura óptima para el crecimiento de las bacterias nitrificantes de 30°C²⁷.

En sistemas de recirculación las bacterias encargadas de transformar amonio a nitritos son las *Nitrosomas* spp., mientras que las bacterias *Nitrobacter* spp. (ambas aerobias) transforman el nitrito a nitrato, fenómenos de gran importancia debido a que el amonio y el nitrito son productos altamente tóxicos para los organismos acuáticos, mientras que los nitratos lo son, aunque en menor grado, porque muchas especies en cultivo lo pueden tolerar; entonces en acuaponía, las plantas son las responsables de aprovechar el nitrato en sus procesos nutritivos y en su crecimiento⁴.

En cuanto a la evaporación del sistema de cultivo de la tilapia, se atribuyó de 25-50 L de agua al tanque que equivale al 10 y 20% del volumen, lo cual está dentro del rango reportado previamente, atribuyendo la pérdida de agua a la eliminación de lodos, lavado de filtros de red, salpicaduras, evaporación y transpiración²⁶.

En los controles y monitoreo diario fue necesario la revisión de las hojas debido a la presencia de plagas. Así Szczesny²⁸ sostiene que las plagas en cultivos hortícolas están conformados por pulgones, mosca blanca, ácaros, trips, coleópteros, minadores, siendo el pulgón natural una de las plagas más frecuentes en cultivos hortícolas, describiéndolas de cuerpo blando y viven en colonias que normalmente se alojan en las hojas y en los brotes terminales; presentan una reproducción rápida, capaz de dar nacimiento a partir de los siete días, aparato bucal chupador con el cual extraen savia de las plantas²⁸. Por ello, es importante detectarlos tempranamente porque son transmisores de virus; también producen una excreción azucarada sobre la que se desarrolla un hongo de color negro (fumagina) que dificulta la fotosíntesis.

CONCLUSION

- En el sistema acuapónico pez - planta el crecimiento de *L. sativa* “lechuga” en el T1 fue mayor que el T2, obteniendo una longitud de hoja (HH) de 16,6cm y una longitud de raíz (HR) de 16,4 cm. En cuanto a los parámetros productivos la Tasa de crecimiento (TC) y Tasa específica de crecimiento (TEC) fue mayor en el T1 (HH = 0,15 cm/día, HR = 1,98 %/día; HH = 0,16 cm/día, HR = 2,45 %/día respectivamente) asimismo obtuvo el mayor crecimiento en peso fresco total (PFt) y peso fresco económico (PFe) registrándose valores promedio de 118,20g/ planta y 94,40g/ planta respectivamente también una rentabilidad de 2,261 kg/ m².

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Nelson R. Acuaponía. Nelson/Pade Multimedia. Montillo, WI. USA. 2007; 15 pp.
2. Ramírez D, Sabogal D, Jiménez P, Hurtado H. La Acuaponía: Una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. 2008; 32-51 pp.
3. Pérez C, Hernández M, Amado I. Acuaponía: bases y alternativas. Instituto Tecnológico de boca del Río (ITBOCA) Veracruz, México. 2013.
4. Nelson R, Pade J. Aquaponics Food Production. Raising fish and plants for food and profit. History of Aquaponics. 2008; 2: 218.
5. Carrasco G, Ramírez P, Vogel H. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. Idesia. 2007; 25(2): 59- 62.
6. Selock D. An introduction to aquaponics: The symbiotic culture of fish and plants. Rural Enterprise and Alternative Agricultural Development Initiative Report. Southern Illinois University Carbondale. 2003.
7. Lennard W. Aquaponics research at RMIT University, Melbourne Australia. Aquaponics J. 2004; 35:18-24.
8. Walsh P. Nitrogen excretion and metabolism. In: Evans DH (ed.), The physiology of fishes. Florida, USA: CRC Press, 1998; 9: 199-214.
9. Rakocy J. Aquaponics: integrating fish and plant culture. In: Timmons MB & Ebeling JM (eds.), Recirculating aquaculture. Florida, USA: Cayuga Aqua Ventures Prints. 2007.
10. Diver S. Aquaponics - Integration of hydroponics with aquaculture. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA) and National Center for Appropriate Technology. 1996; 163: 1-20.
11. Lazard J. Tilapia: More than a fish, a tool for sustainable development. Tilapia Aquaculture. 1997; 2: 437-439.
12. Alvarado D, Chávez F, Wilhemina K. Lechugas hidropónicas: Seminario de Agro Negocios. Universidad del Pacífico. Facultad de Administración y Contabilidad Lima- Perú. 2001.
13. Lee R, Escobar H. Manual de producción de lechuga lisa bajo invernadero. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. 2000
14. Rakocy J. Integrating Tilapia Culture with Vegetable Hidroponic in Recirculating Systems. In: BA Costa Pierce & JE Rakocy (eds.), Tilapia Aquaculture in the Americas. 1997. Louisiana, USA: World Aquaculture Society, Baton Rouge. 1997.
15. Chamorro L, Morillo E, Burbano M, Casanova E, et al. Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando *Lactuca sativa* “lechuga” y *Oncorhynchus mykiss* “trucha arcoíris” en un sistema de recirculación acuícola. Departamento de Recursos Hidrobiológicos, Universidad de Nariño, Colombia. 2011.

16. Castilblanco E, Hidalgo J. Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de *Lactuca sativa* “lechuga” bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura. Zamorano, Honduras. 2009.
17. Rakocy J. Aquaponics: Integrating Fish and Plant Culture. California. 2010; pp.1-78
18. Caló P. Introducción a la acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. 2011.
19. Jacho J, Rosero S. Comparación del uso de un filtro de bolas y un tanque sedimentador para la producción de lechuga en un sistema acuapónico. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 2010.
20. Cáceres D. Efecto del agua residual del cultivo de *Oreochromis niloticus* “tilapia” sobre el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico continuo. Informe de Tesis de Título Profesional de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 2013.
21. Rakocy J, Losordo T, Masser M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fishing and Plant Culture. SRAC Publication N°454. Southern Region Aquaculture Center. Mississippi State University. 1992.
22. Grande E, Luna P. Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m² con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad de Zamorano. Honduras. 2010.
23. Castañeda A, Cabrera J. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 2009.
24. Church D, Pond W. Basic animal nutrition and feeding. New York, USA: John Wiley and Sons. 1982.
25. Lumbi C. Evaluación de la Aclimatación y productividad de 17 Cultivares de Lechuga Tipo ICEBERG (*Lactuca sativa* L. var. capitata) a campo abierto, en Macají, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo-Ecuador. 2011.
26. Rakocy J, Bayley E, Shultz D, Thoman E. Update on Tilapia and vegetable production in the Uvi Aquaponic System. Agricultural Experiment Station. University of the Virgin Islands. 2004.
27. Wheaton W, Honchheimer N, Kaisser E, Kronos J, Libery S, Easter C. Nitrification Filter Principles. Aquaculture Water Reuse System. In: MB Timmons & TS Losordo (eds.). USA: Elsevier. 1994.
28. Szczesny A. Producción hortícola bajo cubierta. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ediciones INTA. 2014.