

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



**EFFECTO DE LA TASA DE CARGA HIDRÁULICA DEL CULTIVO  
ACUAPÓNICO DE *Oreochromis niloticus* Y *Lactuca sativa* EN EL  
CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES Y EN LA DISMINUCIÓN DE  
NITRÓGENO DEL AGUA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
BIÓLOGO ACUICULTOR**

**AUTORES:** Bach. Anne Lizberth Ascate Ninan  
Bach. Roberto Leandro Céspedes Salvador

**ASESOR:** Dr. Walter Eduardo Reyes Ávalos

**CO-ASESOR:** Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas

Nuevo Chimbote – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**



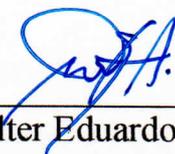
**EFFECTO DE LA TASA DE CARGA HIDRÁULICA DEL CULTIVO  
ACUAPÓNICO DE *Oreochromis niloticus* Y *Lactuca sativa* EN EL  
CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES Y EN LA DISMINUCIÓN DE  
NITRÓGENO DEL AGUA**

**AUTORES:**

**Bach.** Anne Lizberth Ascate Ninan

**Bach.** Roberto Leandro Céspedes Salvador

**Revisado y aprobado por el asesor**



---

Dr. Walter Eduardo Reyes Ávalos

Nuevo Chimbote – Perú

2019

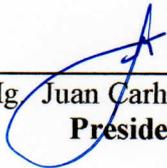
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA**

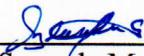


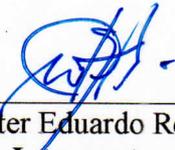
**EFFECTO DE LA TASA DE CARGA HIDRÁULICA DEL CULTIVO  
ACUAPÓNICO DE *Oreochromis niloticus* Y *Lactuca sativa* EN EL  
CRECIMIENTO DE LAS ESPECIES Y EN LA DISMINUCIÓN DE  
NITRÓGENO DEL AGUA**

PRESENTADO POR: **Bach.** Anne Lizberth Ascate Ninan  
**Bach.** Roberto Leandro Céspedes Salvador

**JURADO EVALUADOR**

  
\_\_\_\_\_  
Mg. Juan Carhuapoma Garay  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
M.Sc. Sorayda Mendoza Espinoza  
**Secretaria**

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Walter Eduardo Reyes Avalos  
**Integrante**

Nuevo Chimbote – Perú  
2019

# ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Laboratorio de Recursos Acuático y especies Aux. siendo las 18:00 horas del día 19 de Diciembre del 2019, dando cumplimiento a la Resolución N° 217-2019-UNS-FC se reunió el Jurado Evaluador presidido por Mg. Juan Carhuapoma Garay, teniendo como miembros a H.S.c Sorayda Mendoza Espinoza (secretario) (a), y Dr. Walter Reyes Avalos (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biólogo Acuicultor realizado por el, (la), (los) tesista (as) Roberto Leandro Céspedes Salvador Anne Lisberth Ascate Ninan

....., quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada: "Efecto de la tasa de carga hidráulica del Cultivo acwapónico de Oreochromis niloticus y lactiva Satrua en el crecimiento de las especies y disminución de nitrógeno del agua"

Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as)s respondió (ieron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Sobresaliente asignándole un calificativo de 19 puntos, según artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, vigente (Resolución N° 492-2017-CU -R-UNS)

Siendo las 18:55 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

Nombre: Juan Carhuapoma Garay  
Presidente

Nombre: Sorayda Mendoza Espinoza  
Secretario

Nombre: Walter Reyes Avalos  
Integrante

Distribución: Integrantes J.C. (03), tesistas (02) y archivo (02).



## DEDICATORIA

Jehová es mi luz y salvación; es la fortaleza de mi vida.  
Aunque un ejército acampe contra mí. No temerá mi corazón;  
Aunque de mí se levante guerra,  
Yo estaré confiado.  
(*Salmos 27:1-3*)

A la memoria de mi madre.  
A mi primogénito **CJ**, inspiración de fuerza y valentía.  
A Céspedes Salvador Roberto por su amistad incondicional.  
A mis familiares, en especial a mi hermano Giuseppe por haberme apoyado en todo momento desde que decidí retomar la carrera profesional.  
A mis maestros, amigos, compañeros de la promoción 2007 y 2011, que me ayudaron en todo momento en mi trayecto universitario.  
*Ascate N.*

A Dios por ayudarme a cumplir con mis objetivos y así poder culminar con mi carrera universitaria.  
A mis padres Catalina y Luis por su amor y confianza.  
A mis hermanos por la comprensión y apoyo incondicional  
En memoria de mis abuelos Balbina y Juan  
A todas las personas que me apoyaron durante mi paso por las aulas universitarias.  
*Céspedes S.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro asesor el profesor Dr. Walter Eduardo Reyes Ávalos por brindarnos por su apoyo incondicional en la realización de la presente tesis de investigación.

A nuestro co-asesor Dr. Guillermo Saldaña Rojas por su amistad y guía para la realización del presente informe.

A todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Biología en Acuicultura de la Universidad Nacional del Santa, en especial al Dr. Loayza Aguilar y al Mg. Carhuapoma Garay, por brindarnos sus conocimientos y valores para nuestra formación profesional.

A nuestro amigo, el Bach. Israel Baltodano G. por su ayuda en la construcción y mantenimiento del sistema acuapónico, para la realización de la presente tesis, además de agradecer su amistad brindada durante nuestros ciclos de estudios.

A nuestros amigas y compañeras de clases, a las Srtas. Bach. Apolitano C., Obeso M., Jara C., Caballero V.; así también a nuestros amigos Bach. Nizama C., y Campos V., que contribuyeron de manera anímica, en la realización de la tesis.

## CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. MARCO TEÓRICO.....	13
III. MATERIALES Y METODOS.....	17
Los peces.....	17
Las plantas.....	17
Diseño de investigación.....	17
Sistema acuapónico.....	18
Dieta de peces.....	18
Solución nutritiva.....	18
Tasa de carga hidráulica (TCH).....	19
Crecimiento de tilapia.....	19
Crecimiento de lechuga.....	20
Producción en biomasa.....	20
Calidad de agua.....	20
Análisis estadístico.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
Calidad de agua.....	21
Crecimiento de <i>O. niloticus</i> .....	22
Crecimiento de <i>L. sativa</i> .....	23
V. DISCUSIÓN.....	27
VI. CONCLUSIONES.....	31
VII. RECOMENDACIONES.....	31
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Insumos para elaborar alimento para tilapia <i>O. niloticus</i> (Saldaña, 2008)	18
Tabla 2. Composición de las soluciones nutritivas para cultivo hidropónico La Molina	19
Tabla 3. Parámetros físicos y químicos del agua (Media $\pm$ desviación estándar) en los acuarios de crianza de juveniles de <i>O. niloticus</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico con <i>L. sativa</i> , durante 75 días	21
Tabla 4. Parámetros de crecimiento en peso (Media $\pm$ desviación estándar) biomasa y producción de juveniles de <i>O. niloticus</i> con diferentes tasas de carga hidráulica en cultivo acuapónico	22
Tabla 5. Parámetros de crecimiento en longitud (Media $\pm$ desviación estándar) de juveniles de <i>O. niloticus</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico con <i>L. sativa</i> , durante 75 días	23
Tabla 6. Parámetros de crecimiento en longitud total y producción en biomasa de lechuga <i>L. sativa</i> cultivada con diferentes TCH, durante 75 días. (Media $\pm$ desviación estándar)	24
Tabla 7. Parámetros de crecimiento de longitud de la raíz de lechuga <i>L. sativa</i> cultivada con diferentes TCH y cultivo hidropónico, durante 75 días. (Media $\pm$ desviación estándar)	24
Tabla 8. Parámetros de crecimiento de longitud de la hoja de lechuga <i>L. sativa</i> cultivada con diferentes TCH y cultivo hidropónico, durante 75 días. (Media $\pm$ desviación estándar)	25
Tabla 9. Parámetros de crecimiento en el número de hojas de lechuga <i>L. sativa</i> cultivada con diferentes TCH, durante 75 días. (Media $\pm$ desviación estándar)	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sólidos suspendidos totales adheridos a las raíces de <i>L. sativa</i>	21
Figura 2. Crecimiento en peso de <i>O. niloticus</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico con <i>L. sativa</i>	22
Figura 3. Crecimiento en longitud de <i>O. niloticus</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico con <i>L. sativa</i> , durante 75 días	23
Figura 4. Longitud total de <i>L. sativa</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico y cultivo hidropónico	23
Figura 5. Longitud de la raíz de <i>L. sativa</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico y cultivo hidropónico	24
Figura 6. Longitud de la hoja de <i>L. sativa</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico	25
Figura 7. Número de hojas de <i>L. sativa</i> con diferentes TCH en cultivo acuapónico	25

## RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* en el crecimiento de las especies y en la disminución de nitrógeno del agua. Se utilizaron juveniles de tilapias *O. niloticus* procedentes de una piscigranja en Tarapoto, Perú ( $4.70 \pm 0.09$  cm de longitud total y  $2.58 \pm 0.03$  g de peso total) y plántulas de lechuga *L. sativa* variedad Crispa (8 cm de altura y con 3 hojas) germinadas hidropónicamente. Se empleó tres tratamientos cuyas tasas de carga hidráulica fueron de 6, 8 y 10 m día<sup>-1</sup>, y los controles fueron la tasa de carga hidráulica del cultivo hidropónico y la tasa de carga hidráulica del sistema de recirculación del cultivo acuático, cada uno con tres repeticiones. Las tasas de carga hidráulica de 8 y 10 m día<sup>-1</sup>, ocasionaron mayor crecimiento ( $p < 0.05$ ) en longitud y peso de *O. niloticus*. Las tasas de carga hidráulica de entre 6 y 10 m día<sup>-1</sup>, no tuvieron efecto significativo ( $p > 0.05$ ) en el crecimiento de *L. sativa*, ni en la disminución ( $p > 0.05$ ) de los compuestos nitrogenados en el cultivo acuapónico de *O. niloticus* con *L. sativa*.

**Palabras clave:** Tasa de carga hidráulica, acuaponía, tilapia.

## ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of the hydraulic loading rate of the aquaculture culture of *Oreochromis niloticus* and *Lactuca sativa* on the growth of the species and on the decrease of water nitrogen. Juveniles of *O. niloticus* tilapia from a fish farm were used in Tarapoto, Peru ( $4.70 \pm 0.09$  cm in total length and  $2.58 \pm 0.03$  g in total weight) and *L. sativa* lettuce seedlings, Crispa variety (8 cm high and with 3 leaves) germinated hydroponically. Three treatments were used whose hydraulic loading rates were 6, 8 and  $10 \text{ m day}^{-1}$ , and the controls were the hydraulic loading rate of the hydroponic crop and the hydraulic loading rate of the aquatic crop recirculation system, each with three repetitions. The hydraulic load rates of 8 and  $10 \text{ m day}^{-1}$ , caused greater growth ( $p < 0.05$ ) in length and weight of *O. niloticus*. Hydraulic loading rates between 6 and  $10 \text{ m day}^{-1}$  had no significant effect ( $p > 0.05$ ) on the growth of *L. sativa*, nor on the decrease ( $p > 0.05$ ) of nitrogen compounds in aquaponic culture of *O. niloticus* with *L. sativa*.

**Key words:** Hydraulic loading rate, aquaponics, tilapia.

## I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el sector de producción de alimentos de origen animal de más rápido crecimiento, se estima que su producción anual crecerá 2.64% debido a las nuevas exigencias ambientales y sanitarias, teniendo que alcanzar 109 millones de toneladas de producción al 2030 para mantener el consumo per cápita actual (FAO, 2018).

En acuicultura, el nuevo paradigma lo constituye los sistemas de recirculación de agua, que se implementan de acuerdo a la especie, bien sea en monocultivo o policultivo (Barraza *et al.*, 2009). Estos sistemas utilizan menos del 10% del volumen total de agua en el recambio diario y una proporción mucho menor de área que en una producción convencional en estanque, y la producción de peces son similares (Timmons & Ebeling, 2010; Maigual *et al.*, 2013). En este sistema, las densidades de siembra dependen del tamaño de los tanques, del sistema de separación de sólidos totales (heces de los peces y alimento no consumido), del sistema de biofiltración bacteriana y del sistema de aireación/oxigenación del agua (Timmons & Ebeling, 2010; Maigual *et al.*, 2013)

En el cultivo de peces, solo una pequeña proporción del alimento (25-30 %) se convierte en energía utilizable (Rakocy *et al.*, 1993), otra porción es utilizada como material para reparación y construcción de nuevos tejidos; y lo no aprovechable se excreta en forma sólida y disuelta; además, los metabolitos disueltos se acumulan en los sistemas de recirculación con bajo recambio de agua y llegan a niveles similares a los nutrientes hidropónicos, que si no son removidos afectan a los organismos en cultivo (Timmons *et al.*, 2009).

Los sistemas acuapónicos son sistemas de recirculación acuícola que incorporan la producción de plantas sin suelo, y están diseñados para criar grandes cantidades de peces en volúmenes relativamente pequeños de agua al tratar el agua para eliminar los productos de desecho tóxicos y luego reutilizarla (Rakocy *et al.*, 2006). La hidroponía, es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo, para producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando diversos sitios (Beltrano,2015).

Problema

¿Cómo afecta la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *O. niloticus* y *L. sativa*, en el crecimiento de las especies y en la disminución de nitrógeno del agua?

## Hipótesis

Si recirculamos el agua del cultivo de *O. niloticus* con tasas de carga hidráulica de 6, 8 y 10 m día<sup>-1</sup> hacia el cultivo hidropónico de *L. sativa*, se logra mayor crecimiento de las especies y menores productos nitrogenados del agua con la tasa de carga hidráulica de 8 m día<sup>-1</sup>.

## Objetivo general

Evaluar el efecto de la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa* en el crecimiento de las especies y en la disminución de nitrógeno del agua.

## Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *O. niloticus* y *L. sativa* en el crecimiento de las especies.
- Determinar la tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *O. niloticus* y *L. sativa* que ocasiona mayor disminución de nitrógeno del agua.

## II. MARCO TEÓRICO

La hidroponía es una alternativa de producción intensiva de vegetales (Izquierdo, 2003) donde las plantas prescindan del suelo y solo necesitan de un sustrato líquido rico en nutrientes que circule entre las raíces (Sádaba *et al.*, 2007). Los macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, B, Zn y Mo) deben estar balanceados de acuerdo a los requerimientos de los distintos vegetales (con fruto – sin fruto) que se van a cultivar (Marulanda, 2003).

Diversas hortalizas se cultivan hidroponía que pertenecen a las familias de las Solanáceas (tomate, chile, berenjena, papa), Liliáceas (cebolla, ajo, cebollín, puerro), Crucíferas (nabo, repollo, coliflor, brócoli, berro), Cucurbitáceas (pepino, melón, sandía), Umbelíferas (culantro, apio, perejil y zanahoria), Compuestas (lechuga) (Ramírez *et al.*, 2017; Caló, 2011; Petrea *et al.*, 2013), con mayores producciones por área comparado con los cultivos convencionales. La producción de lechuga *Lactuca sativa* en sistema hidropónico es de 12 a 42 plantas m<sup>-2</sup> mes<sup>-1</sup> que equivale a 10 veces la producida en campo, aunque la densidad puede disminuir para alcanzar el tamaño de mercado (Hafedh *et al.*, 2008).

La sinergia entre el sistema acuícola con el sistema de hidropónico, llamada acuaponía, es una tecnología innovadora que permite el cultivo de peces y el cultivo de plantas hidropónicas, para promover la sostenibilidad de los cultivos (Endut *et al.*, 2010; Diver, 2006). Estos sistemas se unen por medio de un sistema de recirculación de agua, donde los metabolitos disueltos del cultivo de peces al pasar por el sistema de biofiltración bacteriana se mineralizan y se acumulan, hasta niveles tóxicos o letales para los peces, pero al pasar por el sistema hidropónico las plantas los utilizan para su desarrollo lo que mejora la calidad del agua, antes de su retorno a los tanques de cultivo de peces (Rakocy *et al.*, 2006; Diver, 2006; Hurtado, 2009). Sin la biofiltración de las plantas se tendría que hacer recambios parciales, liberando al ambiente agua cargada de metabolitos que pueden ocasionar eutrofización de los ambientes acuáticos. La integración de los sistemas de acuicultura e hidroponía (acuaponía) convierte el flujo de residuos en una activa producción de ambos cultivos (Tyson *et al.*, 2011).

Los sistemas acuapónicos utilizan el sistema de camas, el sistema de raíces flotantes y el sistema de solución nutritiva recirculante para el crecimiento de las plantas (Caló, 2011). En el sistema de camas, los contenedores llenos de sustrato inerte (grava, canto

rodado, arena, aserrín, viruta, turba, perlita, vermiculita, etc.) sirven de sostén a las plantas, y el agua ingresa por un extremo y sale por el opuesto, pero retorna al sistema (Ramírez *et al.*, 2017). En el sistema de raíces flotantes, las plantas son introducidas en vasos hidropónicos e introducidas en los agujeros de una plancha de Tecnopor que flota sobre el agua y las raíces quedan inmersas en la solución nutritiva (Caló, 2011). En el sistema de solución nutritiva recirculante, una delgada lámina de solución nutritiva fluye a través de las raíces de las plantas, que se encuentran suspendidas en vasos hidropónicos sobre tuberías de PVC protegiendo las raíces y permitiendo el crecimiento de tallo y hojas. El agua del cultivo de peces rica en nutrientes pasa al filtro de sólidos y luego al biofiltro donde por acción bacteriana los nutrientes nitrogenados son oxidados hasta nitratos (Moreno & Zafra, 2014) para su posterior utilización por las plantas.

Diversas especies de vegetales son estudiados en sistema acuapónico como *Ocimum basilicum* albahaca, *Allium schoenoprasum* cebollin, *Brassica oleracea* col rizada, *Plectranthus purpuratus* menta, *Rosmarinus officinalis* romero, *Mentha spicata* hierbabuena, *Beta vulgaris* acelga, *Petroselinum crispum* perejil, *Ipomoea aquatica* espinaca acuática, *Solanum lycopersicum* tomate, *Brassica chinensis* pak choi, *Pimiento annuum* pimiento, *Cucumis sativus* pepino, y *L. sativa* lechuga (Timmons *et al.*, 2009).

La lechuga *L. sativa*, se ha adaptado a los sistemas de recirculación en acuaponía (Rakocy, 2007; Muñoz, 2012) con bastante éxito si se mantiene adecuada temperatura (14 y 24°C), pH (5,0 a 6,8) (Birgi, 2015), así como un buen balance de macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Ni y Cl) (Carbone, 2015) que permita una conductividad eléctrica de 1.5 a 3.0 mS cm<sup>-1</sup> (Resh, 1995).

Las especies de peces de agua dulce que se cultivan en acuaponía son *Oreochromis niloticus* tilapia nilótica (Rubio, 2012), *O. urolepis hornorum* x *O. mosambicus* híbridos de tilapia (Campos, 2013), tilapia roja *Oreochromis* sp (Moreno & Zafra, 2014), *Silurus glanis* siluro, *Perca fluviatilis* perca, *Lepomis auritus* lepomis, *Oncorhynchus* sp trucha, *Phoxinus phoxinus* piscardos, *Cyprinus carpio* carpa (Hussain *et al.*, 2015), *Ctenopharyngodon idella* x *Aristichthys nobilis* híbridos de carpa, *Piaractus* sp. pacu, *Lates calcarifer* barramundi, *Pangasius* sp pangasius, *Ictalurus punctatus* pez gato del canal, *Clarias gariepinus* pez gato de África, peces ornamentales como *Carassius* sp. golfish (Love *et al.*, 2015), además las especies potenciales deben tolerar altas densidades

de cultivo y elementos como potasio, hierro que se usan para promover el crecimiento de las plantas (Timmons *et al.*, 2009).

La tilapia *O. niloticus* es resistente a los cambios ambientales, de rápido crecimiento en diversos sistemas de cultivo (Brummett & Noel, 1994), es omnívora y acepta alimento balanceado, con diferentes tenores de proteína según su estadio de crecimiento (Baltazar, 2007) y se cultiva en estanques, tanques, raceways, jaulas, sistemas de recirculación (Fitzimmons, 1999). En acuaponía *O. niloticus* (Morgado, 2014) y *Oreochromis* sp tilapia roja (Love *et al.*, 2015; Moreno & Zafra, 2014) se adapta al sistema de solución nutritiva recirculante (NFT), donde logra mayor crecimiento (Turkmen & Guner, 2010; Hundley & Navarro, 2013), hecho que la ha convertido en una de las especies más importantes en el mundo en cuanto a producción acuícola en sistemas intensivos (Moreno & Zafra, 2014).

En el agua de cultivo de organismos acuáticos el nitrógeno es de principal preocupación, por ser un componente de los desechos de amoníaco, urea, ácido úrico y aminoácidos generados por los peces (Timmons *et al.*, 2009). La tilapia como todo teleosteo amoniotélico, luego del catabolismo de las proteínas endógenas o dietéticas, excreta principalmente amoníaco no ionizado ( $\text{NH}_3$ ) a través de las branquias y la orina (Hill *et al.*, 2006), luego este metabolito se ioniza convirtiéndose en amonio ( $\text{NH}_4$ ), y al pasar por los sistemas de biofiltración con nitrobacterias se oxida rápidamente transformándose en nitrito ( $\text{NO}_2$ ), finalizando su oxidación en nitrato ( $\text{NO}_3$ ) (Timmons *et al.*, 2009). Si bien la biofiltración transforma lo tóxico ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) a relativamente inofensivo ( $\text{NO}_3$ ), hay acumulación de nitratos y fosfatos dentro del sistemas de recirculación acuícola (Timmons *et al.*, 2009; Endut *et al.*, 2010).

Las plantas aprovechan los compuestos nitrogenados, fosforados y todos los minerales disponibles en el agua de cultivo de los peces (Rubio, 2012) para la formación de ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, enzimas, clorofila, proteínas, con ello logra desarrollarse (Morgado, 2014). La cantidad de  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_3$  producido en un sistema de cultivo de peces es directamente proporcional a la densidad de peces y la cantidad y el contenido de proteínas del alimento (Endut *et al.*, 2010).

Por consiguiente, la acuaponía se presenta como una de las pocas técnicas que utiliza el nitrógeno disuelto en el agua y es un sistema biointegrado para la producción de alimentos (Diver, 2006; Buzby & Lin, 2014), que reduce la descarga de agua rica en nutrientes producidos por la actividad acuícola; sin embargo, requiere mantener

adecuados parámetros de calidad del agua para la supervivencia de los peces, plantas y bacterias (Tyson *et al.*, 2011).

El crecimiento de la planta en un sistema acuapónico, depende del flujo de agua de cultivo de peces. El flujo del cultivo de peces de  $2 \text{ L min}^{-1}$  para un canal de 20 cm de ancho y de 15 m a 20 m de longitud, permite que las raíces de las plantas, con la técnica de solución nutritiva recirculante, cuenten con oxígeno suficiente, agua y nutrientes (Alcantar & Trejo-Téllez, 2009). Sin embargo, otros flujos son empleados dependiendo de la especie; así, en alevines de bagre híbridos con lechuga *L. sativa* en lechos de sustrato se requiere un flujo de  $3 \text{ L min}^{-1}$  (Sikawa & Yakupitiyage, 2010); en alevines de *Cyprinus carpio* y remolacha *Beta vulgaris* se requiere de  $1.5 \text{ L min}^{-1}$  (Hussain *et al.*, 2015); en juveniles de *Oncorhynchus mykiss* con espinacas *Spinacia oleracea* utilizan un flujo de  $6.0 \text{ L min}^{-1}$  con la técnica de raíces flotantes (Petrea *et al.*, 2013). En la producción de *L. sativa* con *Oreochromis* sp, el flujo varía entre  $2.4 \text{ L min}^{-1}$  a  $8 \text{ L min}^{-1}$  (Moreno & Zafra, 2014) y de  $1.0 \text{ L min}^{-1}$  en el cultivo de *O. niloticus* y chile *Capsicum annum* (Silva, 2012).

Sin embargo, en los sistemas de acuaponía, se ha sugerido que el uso del flujo de agua no se considera como un parámetro adecuado por cuanto el agua discurre por el lecho del cultivo hidropónico que varía en área y volumen. Ante esta situación, en el sistema de acuaponía se emplea la tasa de carga hidráulica (TCH) porque es más realista dado a que el flujo de agua atraviesa el área del sistema hidropónico en tubos o camas y porque disminuye el error de cálculo de los gradientes de concentración de metabolitos y de oxigenación del agua (Mohapatra *et al.*, 1989; Watten *et al.*, 2000). En este sentido, la TCH de  $1.28 \text{ m día}^{-1}$  es adecuada en la producción acuapónica de alevines de bagre *Clarias gariepinus* y espinaca *Ipomoea aquatica* (Endut *et al.*, 2010). En el cultivo de juveniles de tilapia *O. niloticus* y tomate *Lycopersicon esculentum* en el sistema de raíces flotantes, la TCH de  $1.0 \text{ m día}^{-1}$  ocasiona mayor incremento de la biomasa (Hu *et al.*, 2015). En cambio, en el cultivo acuapónico entre carpa común *C. carpio* y menta *M. arvensis*, la TCH de  $6.0 \text{ m día}^{-1}$  incrementa la producción (Shete *et al.*, 2016). Es decir que la TCH varía en función de la especie y del sistema empleado.

La TCH se obtiene al dividir el caudal de agua a través del área de superficie del cultivo hidropónico (Endut *et al.*, 2010). Esto significa, que los flujos de  $1.0 \text{ L min}^{-1}$  (Silva, 2012) y de  $2.4$  a  $8.0 \text{ L min}^{-1}$  (Moreno & Zafra, 2014) representan tasas de carga hidráulica de  $3.6 \text{ m día}^{-1}$ ,  $8.6 \text{ m día}^{-1}$  y  $28.8 \text{ m día}^{-1}$ , respectivamente.

### III. MATERIALES Y METODOS

El trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Acuicultura Ornamental del Departamento de Biología, Microbiología y Biotecnología de la Universidad Nacional del Santa, distrito de Nuevo Chimbote, provincia del Santa, región Ancash, Perú.

#### Los peces

Los alevines revertidos de *O. niloticus* variedad Chitralada procedieron de la piscigranja “El Gran Paso” en el distrito de Morales (Tarapoto-Perú) y fueron transportados (50 alevines L<sup>-1</sup>) en bolsas plásticas con oxígeno comprimido e introducidos en baldes de plástico (18 L) acondicionadas dentro de cajas de cartón, según lo recomendado por Cole *et al.* (2001). El transporte vía terrestre duró 21 h (Tarapoto-Trujillo-Chimbote). En laboratorio, los peces se aclimataron durante 15 días en tanque de fibra de vidrio (500 L), provistos de aireación constante, y alimentados con balanceado (35% de proteína bruta). Se emplearon 192 juveniles de  $4.70 \pm 0.09$  cm de longitud total y  $2.58 \pm 0.03$  g de peso, seleccionados al azar del lote de 500 ejemplares. La densidad fue de 16 peces por acuario.

#### Las plantas

Las semillas de *L. sativa* variedad Crispa, fueron adquiridas de la Agropecuaria Agrotokape E.I.R.L, de Chimbote. La germinación de semilla se hizo en camas de cartón (celda de huevos) con tierra de jardín comercial. Para mantener las camas de germinación con 70% de humedad se cubrió con plástico y la temperatura fue entre 20°C a 24°C. Se emplearon 120 plántulas germinadas (8 cm de altura y con 3 hojas) hidropónicamente, y seleccionadas al azar de un lote de 300 plántulas. La densidad fue de 8 lechugas por tubo por acuario.

#### Diseño de investigación

Se empleó el diseño de estímulo creciente, con tres tratamientos experimentales y dos tratamientos control, con tres repeticiones, respectivamente, siendo los siguientes:

T1: Tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de 6 m día<sup>-1</sup>.

T2: Tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de 8 m día<sup>-1</sup>.

T3: Tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de 10 m día<sup>-1</sup>.

T4: Tasa de carga hidráulica de hidroponía de 1.4 m día<sup>-1</sup> (control).

T5: Tasa de carga hidráulica del sistema de recirculación 1.4 m día<sup>-1</sup> (control)

## Sistema acuapónico

El sistema de cultivo de peces consistió de 15 acuarios de vidrio (62 cm de largo, 31 cm de ancho, 37 cm de alto, y con 55 L), en cada uno se instaló un termostato de 100 W para mantener la temperatura ( $26.0 \pm 0.05$  °C). En cada acuario, se instaló un sistema de separador de sólidos (4 L), un filtro biológico (2.5 L) compuesto de una capa de espuma de poliuretano (1 cm de espesor), una capa intermedia de grava y la capa final de conchuelas (Caló, 2011), y dos piedras difusoras para circulación y oxigenación del agua. El aire fue abastecido por un blower de 1 HP.

El sistema de cultivo hidropónico (NFT) consistió de un tubo PVC (tubos 3”  $\varnothing$ , 2 m de longitud y 0.20 m de ancho, con perforaciones cada 0.10 m, y de 0.4 m<sup>2</sup>) conectado a cada acuario mediante un sistema air water lift para abastecimiento y circulación de agua.

El sistema acuapónico fue instalado cerca de las ventanas del laboratorio para permitir la incidencia de la luz solar, pero además fue iluminado (cinco fluorescentes de 40 W, 600 a 800 lux) por 12 h luz. No se realizaron recambios de agua durante la experiencia, sólo reposición por evaporación.

## Dieta de peces

El alimento balanceado para tilapia (35% de proteína bruta) se preparó según la formulación de Saldaña (2008) (Tabla 1), elaborado según el procedimiento de Guevara (2003) y peletizado a baja temperatura, luego los pellets fueron quebrados hasta un diámetro promedio de 0.5 mm. Los peces fueron alimentados tres veces al día (9:00, 12:00 y 16:00 h) y se administró a razón del 5 % del peso húmedo.

Tabla 1: Insumos para elaborar alimento para tilapia *O. niloticus* (Saldaña, 2008).

Insumos	%
Harina de pescado	51.0
Harina de maíz	17.6
Harina de trigo	14.0
Polvillo de arroz	9.0
Pasta de algodón	5.0
Aceite de Soya	3.0
Premix	0.4

## Solución nutritiva

La solución nutritiva se adquirió del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Tabla 2). Para preparar un litro de solución

nutritiva, se añadió 5 ml de la solución concentrada A y 2 ml de la solución concentrada B en un litro de agua.

Tabla 2. Composición de las soluciones nutritivas para cultivo hidropónico La Molina.

Solución concentrada A (para 5 L de agua, volumen final)	
Nitrato de potasio	550 g
Nitrato de amonio	350 g
Superfosfato triple	180 g
Solución concentrada B (para 2 L de agua, volumen final)	
Sulfato de magnesio	220 g
Quelato de hierro 6% Fe	17 g
Solución de micronutrientes	00ml
Solución de micronutrientes (para 1 L de agua destilada o hervida)	
Sulfato de manganeso	5,0 g
Ácido bórico	3,0 g
Sulfato de zinc	1,0 g
Sulfato de cobre	1,0 g
Molibdato de amonio	0,2 g

### Tasa de carga hidráulica (TCH)

La TCH se determinó según la fórmula de Endut *et al.* (2010):

$$TCH (m \text{ día}^{-1}) = \frac{Q (m^3 \text{ día}^{-1})}{A (m^2)}$$

Dónde Q es la tasa de flujo de agua y A es el área superficial del cultivo hidropónico.

### Crecimiento de tilapia

Los peces fueron muestreados cada quince días. El peso total (g) se determinó utilizando una balanza digital ADAM AQT 600 ( $\pm 0.01$  g). Con los datos obtenidos se determinó el crecimiento absoluto (CA), la ganancia porcentual (GP), la tasa de crecimiento absoluto (TCA) y la tasa de crecimiento específica (TCE), según Shete *et al.* (2016):

$$CA = X_2 - X_1$$

$$GP (\%) = (CA/X_1) \times 100$$

$$TCA = CA/t_2 - t_1$$

$$TCE (\% \text{ día}^{-1}) = [\ln X_2 - \ln X_1] / [t_2 - t_1] \times 100.$$

Donde  $X_1$  y  $X_2$  = peso húmedo (g) o la longitud total (cm), inicial y final;  $t_1$  y  $t_2$  = duración en días;  $\ln X_1$  y  $\ln X_2$  = logaritmo natural del peso o la longitud inicial y final.

## **Crecimiento de lechuga**

Se muestreo semanalmente, utilizando una regla graduada en cm ( $\pm 0.1$  mm) para medir la longitud total de la planta, longitud de raíz, y hojas; para el número de hojas se hizo conteo manual; el peso fue determinado con una balanza digital ADAM AQT 600 ( $\pm 0.01$  g). Con los datos, se determinó los parámetros de crecimiento (Endut *et al.*, 2000; Shete *et al.*, 2016).

$$\text{TCA (cm día}^{-1}\text{)} = \left( \frac{\text{Altura final} - \text{Altura inicial}}{\text{Tiempo final} - \text{tiempo inicial}} \right)$$

$$\text{TCE (\% día}^{-1}\text{)} = \left( \frac{\text{Ln (Altura final)} - \text{Ln (Altura inicial)}}{\text{Tiempo final} - \text{tiempo inicial}} \right) \times 100$$

## **Producción (P)**

$$\text{P (kg m}^{-2}\text{)} = \text{Biomasa} / \text{área de cultivo en las lechugas}$$

$$\text{P (kg m}^{-3}\text{)} = \text{Biomasa} / \text{volumen de cultivo en los peces}$$

## **Biomasa en peces**

$$\text{Biomasa (Kg)} = \text{Peso promedio} \times \text{Número de peces}$$

## **Calidad de agua**

Los sólidos totales (heces de los peces y alimento no consumido) se extrajeron de cada acuario con sifón y se produjo reposición del 10% del volumen total de cada acuario. El agua de los acuarios se monitoreó cada siete días y se determinó nitrógeno amoniacal total (NAT): amonio - amoníaco  $\text{NH}_4/\text{NH}_3$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrito  $\text{NO}_2^- \text{N}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) y nitrato  $\text{NO}_3^- \text{N}$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) del agua a la entrada y salida del sistema, para ello se emplearon Kit de análisis colorimétrico Sera ( $\pm 0.01$   $\text{mg L}^{-1}$ ). La temperatura se determinó con termómetro digital ( $\pm 0.1$  °C) y el pH con pH-metro digital Hanna ( $\pm 0.01$  unidades), se registraron tres veces por semana.

## **Análisis estadístico**

La normalidad de los datos se determinó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los datos de crecimiento y de calidad de agua fueron procesados y analizados estadísticamente mediante el diseño estadístico completamente al azar. Las diferencias entre las medias de los tratamientos se determinaron al 95% por análisis de varianza y la prueba de Tukey al 5%, usando el programa estadístico SPSS versión 20 para Windows 7.

## IV. RESULTADOS

### Calidad del agua

Los parámetros físicos y químicos del agua de cultivo de *O. niloticus* fueron similares ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos (Tabla 3). La temperatura fue de alrededor de 24.4°C. El NAT fue menor (1.14 mg L<sup>-1</sup>) con la TCH de 8 m día<sup>-1</sup> y mayor (2.56 y 2.36 mg L<sup>-1</sup>) con la TCH de 6 y 10 m día<sup>-1</sup>, respectivamente. El amonio varió entre 0.01 a 0.02 mg L<sup>-1</sup> entre tratamientos. Los nitritos disminuyeron de 1.86 a 1.36 mg L<sup>-1</sup> con el incremento de la TCH de 6 a 10 m día<sup>-1</sup>, aunque sin diferencias significativas; en cambio, alta concentración de nitritos de 2.42 mg L<sup>-1</sup>, se obtuvo con 1.4 m día<sup>-1</sup>. Los nitratos se mantuvieron entre 83 y 88 mg L<sup>-1</sup>.

Tabla 3. Parámetros físicos y químicos del agua (Media  $\pm$  desviación estándar) en los acuarios de cultivo de *O. niloticus* con diferentes TCH en cultivo acuapónico con *L. sativa*, durante 75 días.

TCH	Temperatura (°C)	NAT (mg L <sup>-1</sup> )	Amonio (mg L <sup>-1</sup> )	Nitritos (mg L <sup>-1</sup> )	Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )	pH
6 m día <sup>-1</sup>	24.3 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>	2.56 $\pm$ 4.11 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	1.86 $\pm$ 1.83 <sup>a</sup>	88.89 $\pm$ 21.39 <sup>a</sup>	6.84 $\pm$ 0.64 <sup>a</sup>
8 m día <sup>-1</sup>	24.3 $\pm$ 0.61 <sup>a</sup>	1.14 $\pm$ 1.80 <sup>a</sup>	0.01 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	1.42 $\pm$ 1.68 <sup>a</sup>	83.33 $\pm$ 24.25 <sup>a</sup>	7.17 $\pm$ 0.56 <sup>a</sup>
10 m día <sup>-1</sup>	24.4 $\pm$ 0.48 <sup>a</sup>	2.36 $\pm$ 3.69 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	1.36 $\pm$ 1.75 <sup>a</sup>	83.33 $\pm$ 24.25 <sup>a</sup>	7.05 $\pm$ 0.82 <sup>a</sup>
1.4 m día <sup>-1</sup>	24.5 $\pm$ 0.81 <sup>a</sup>	2.60 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	2.42 $\pm$ 2.03 <sup>a</sup>	88.89 $\pm$ 21.39 <sup>a</sup>	6.82 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>

TCH: Tasa de carga hidráulica. NAT: nitrógeno amoniacal total NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub>. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

Los sólidos suspendidos totales fueron extraídos mecánicamente con ayuda del separador de sólidos y a la vez evaluados macroscópicamente a través de las raíces de la lechuga durante los 75 días de cultivo acuapónico. Los sólidos suspendidos totales tuvieron una incidencia directa sobre las raíces de las plantas donde se acumularon y cubrieron el sistema radicular (aprox. 40 a 80%), evitando su desarrollo, causando pudrición de la misma (Fig. 1).



Figura 1. Sólidos suspendidos totales adheridos a las raíces de *L. sativa*.

## Crecimiento de tilapia

El crecimiento en peso de *O. niloticus* fue similar ( $p>0.05$ ) entre tratamientos, hasta los 30 días de cultivo. A los 45 y 75 días el mayor crecimiento en peso ( $p<0.05$ ) se obtuvo en las TCH de 8 y 10  $\text{m día}^{-1}$  (Fig. 2). La producción fue mayor ( $p<0.05$ ) en las TCH de 8 y 10  $\text{m día}^{-1}$  (Tabla 4).

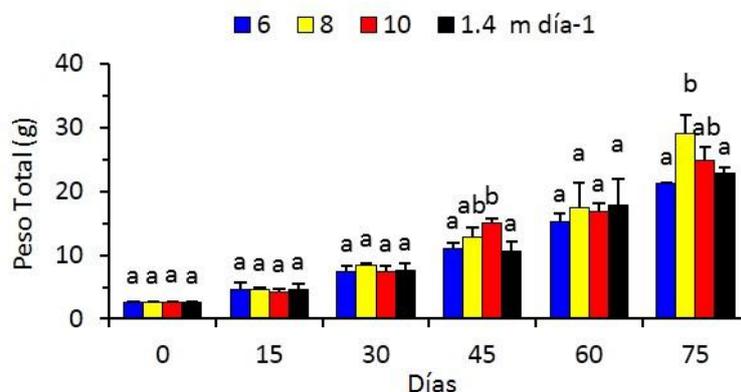


Figura 2. Crecimiento en peso de *O. niloticus* con diferentes TCH en cultivo acuapónico con *L. sativa*.

Tabla 4. Parámetros de crecimiento en peso (Media  $\pm$  desviación estándar) biomasa y producción de *O. niloticus* con diferentes tasas de carga hidráulica en cultivo acuapónico.

Parámetros	TCH del cultivo acuapónico			TCH en SRA
	6 $\text{m día}^{-1}$	8 $\text{m día}^{-1}$	10 $\text{m día}^{-1}$	1.4 $\text{m día}^{-1}$
Peso inicial (g)	2.56 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	2.57 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.59 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	2.58 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
Peso final (g)	21.16 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	28.97 $\pm$ 1.18 <sup>b</sup>	24.90 $\pm$ 0.79 <sup>ab</sup>	22.80 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>
CA (g)	18.60 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	26.39 $\pm$ 1.17 <sup>b</sup>	22.31 $\pm$ 0.79 <sup>ab</sup>	20.25 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup>
TCA (g)	0.25 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	0.35 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.30 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.27 $\pm$ 0.005 <sup>a</sup>
GP (%)	726.7 $\pm$ 16.8 <sup>a</sup>	0.35 $\pm$ 38.3 <sup>b</sup>	0.30 $\pm$ 28.9 <sup>ab</sup>	0.27 $\pm$ 10.7 <sup>a</sup>
TCE (% $\text{día}^{-1}$ )	2.8 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	3.2 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	3.0 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>	2.9 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
Biomasa (Kg)	0.339 $\pm$ 0.96 <sup>a</sup>	0.463 $\pm$ 18.95 <sup>b</sup>	0.398 $\pm$ 12.70 <sup>ab</sup>	0.365 $\pm$ 6.06 <sup>a</sup>
P ( $\text{kg m}^{-3}$ )	6.15 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	8.43 $\pm$ 0.34 <sup>b</sup>	7.24 $\pm$ 0.23 <sup>ab</sup>	6.64 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>

PT: Peso total. CA: Crecimiento absoluto. GP: Ganancia porcentual. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. TCE: Tasa de crecimiento específica. P: Producción. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p<0.05$ ).

El crecimiento en longitud de *O. niloticus* fue similar ( $p>0.05$ ) entre tratamientos, hasta los 15 días de cultivo. A los 30 días el crecimiento en peso fue mayor ( $p<0.05$ ) en la TCH de 8  $\text{m día}^{-1}$ , que en los demás tratamientos. A los 45 y 60 días, el mayor crecimiento en longitud ( $p<0.05$ ) se obtuvo en las TCH de 8 y 10  $\text{m día}^{-1}$  (Fig. 3, Tabla 5). Pero, a los 75 días, el crecimiento en longitud fue mayor ( $p<0.05$ ) en la TCH de 8  $\text{m día}^{-1}$  (Fig. 3, Tabla 5).

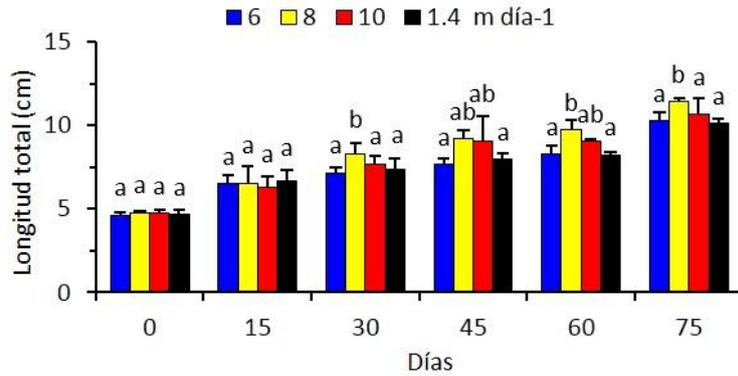


Figura 3. Crecimiento en longitud de *O. niloticus* con diferentes TCH en cultivo acuapónico con *L. sativa*, durante 75 días.

Tabla 5. Parámetros de crecimiento en longitud (Media ± desviación estándar) de *O. niloticus* con diferentes TCH en cultivo acuapónico con *L. sativa*, durante 75 días.

Parámetros	TCH del cultivo acuapónico			TCH en SRA
	6 m día <sup>-1</sup>	8 m día <sup>-1</sup>	10 m día <sup>-1</sup>	1.4 m día <sup>-1</sup>
LT inicial (g)	4.63 ± 0.06 <sup>a</sup>	4.77 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.72 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.67 ± 0.12 <sup>a</sup>
LT final (g)	10.28 ± 0.20 <sup>a</sup>	11.40 ± 0.10 <sup>b</sup>	10.70 ± 0.37 <sup>a</sup>	10.13 ± 0.10 <sup>a</sup>
CA (g)	5.60 ± 0.15 <sup>ab</sup>	6.60 ± 0.11 <sup>b</sup>	6.0 ± 0.26 <sup>ab</sup>	5.5 ± 0.03 <sup>a</sup>
TCA (g día <sup>-1</sup> )	0.08 ± 0.002 <sup>ab</sup>	0.09 ± 0.001 <sup>b</sup>	0.08 ± 0.003 <sup>ab</sup>	0.07 ± 0.000 <sup>a</sup>
GP (%)	121.90 ± 187 <sup>ab</sup>	138.80 ± 3.12 <sup>b</sup>	126.70 ± 2.79 <sup>ab</sup>	117.2 ± 3.21 <sup>a</sup>
TCE (% día <sup>-1</sup> )	1.10 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.20 ± 0.02 <sup>b</sup>	1.10 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.0 ± 0.02 <sup>a</sup>

LT: Longitud total. CA: Crecimiento absoluto. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. GP: Ganancia porcentual. TCE: Tasa de crecimiento específica. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

### Crecimiento de lechuga

El crecimiento en longitud de *L. sativa* fue similar ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos durante los 75 días de cultivo (Fig. 4, Tabla 6).

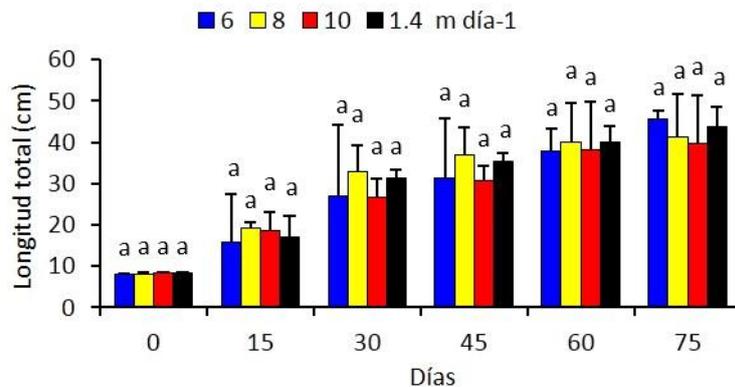


Figura 4. Longitud total de *L. sativa* con diferentes TCH en cultivo acuapónico y cultivo hidropónico.

Tabla 6. Parámetros de crecimiento en longitud total y producción de *L. sativa* cultivada con diferentes TCH, durante 75 días. (Media  $\pm$  desviación estándar)

Parámetros	TCH del cultivo acuapónico			TCH de hidroponía
	6 m día <sup>-1</sup>	8 m día <sup>-1</sup>	10 m día <sup>-1</sup>	1.4 m día <sup>-1</sup>
LT inicial (cm)	8.1 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	8.2 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	8.2 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	8.3 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>
LT final (cm)	45.47 $\pm$ 0.91 <sup>a</sup>	41.37 $\pm$ 4.20 <sup>a</sup>	39.57 $\pm$ 4.72 <sup>a</sup>	43.7 $\pm$ 1.97 <sup>a</sup>
TCA (cm día <sup>-1</sup> )	0.50 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.44 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	0.42 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.47 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>
TCE (% día <sup>-1</sup> )	2.31 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	2.15 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2.09 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	2.21 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
P (kg m <sup>-2</sup> )	0.11 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.10 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.09 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.10 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>

LT: Longitud total. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. TCE: Tasa de crecimiento específica. P: Producción. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

La longitud de la raíz de *L. sativa*, fue similar ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos durante los 75 días de cultivo (Fig. 5, Tabla 7).

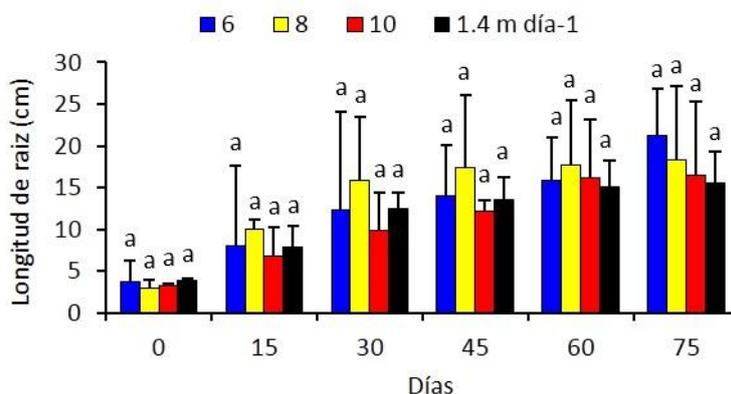


Figura 5. Longitud de la raíz de *L. sativa* con diferentes TCH en cultivo acuapónico y caudal hidropónico.

Tabla 7. Parámetros de crecimiento de longitud de la raíz de *L. sativa* cultivada con diferentes TCH y cultivo hidropónico, durante 75 días. (Media  $\pm$  desviación estándar).

Parámetros	TCH del cultivo acuapónico			TCH de hidroponía
	6 m día <sup>-1</sup>	8 m día <sup>-1</sup>	10 m día <sup>-1</sup>	1.4 m día <sup>-1</sup>
LR inicial (cm)	3.7 $\pm$ 1.07 <sup>a</sup>	3.0 $\pm$ 0.40 <sup>a</sup>	3.3 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	3.9 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>
LR final (cm)	21.22 $\pm$ 2.24 <sup>a</sup>	18.35 $\pm$ 3.58 <sup>a</sup>	16.50 $\pm$ 3.55 <sup>a</sup>	15.53 $\pm$ 1.50 <sup>a</sup>
TCA (cm día <sup>-1</sup> )	0.23 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.20 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	0.18 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	0.16 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>
TCE (% día <sup>-1</sup> )	2.38 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup>	2.41 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>	2.11 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	1.84 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>

LR: Longitud raíz. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. TCE: Tasa de crecimiento específica. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

La longitud de la hoja de *L. sativa* fue similar ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos durante los 75 días de cultivo (Fig. 6, Tabla 8).

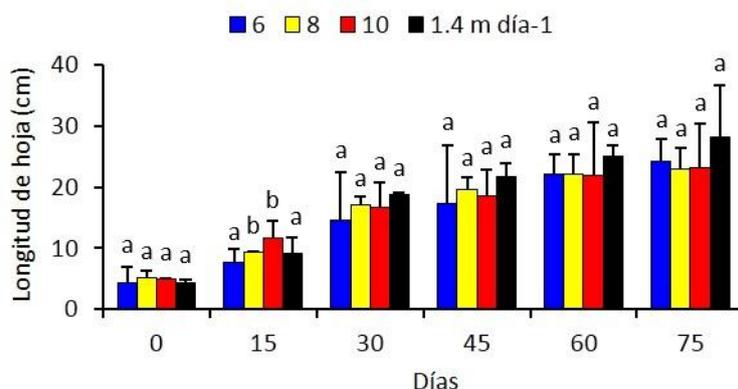


Figura 6. Longitud de la hoja de *L. sativa* con diferentes TCH en cultivo acuapónico.

Tabla 8. Parámetros de crecimiento de longitud de la hoja de *L. sativa* cultivada con diferentes TCH y cultivo hidropónico, durante 75 días. (Media  $\pm$  desviación estándar).

Parámetros	TCH del cultivo acuapónico			TCH de hidroponía
	6 m día-1	8 m día-1	10 m día-1	1.4 m día <sup>-1</sup>
LH inicial (cm)	4.4 $\pm$ 1.05 <sup>a</sup>	5.2 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>	4.9 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	4.4 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>
LH final (cm)	24.25 $\pm$ 1.43 <sup>a</sup>	23.02 $\pm$ 1.38 <sup>a</sup>	23.07 $\pm$ 2.91 <sup>a</sup>	28.17 $\pm$ 3.44 <sup>a</sup>
TCA (cm día <sup>-1</sup> )	0.26 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.24 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.24 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.32 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>
TCE (% día <sup>-1</sup> )	2.30 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>	1.99 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>	2.06 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>	2.47 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>

LH: Longitud hoja. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. TCE: Tasa de crecimiento específica. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

El número de hojas de *L. sativa*, fue similar ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos durante los 75 días de cultivo; a excepción del día 15 donde el número de hojas fue alta ( $p < 0.05$ ) con la TCH de 8 y 10 m día<sup>-1</sup> (Fig. 7, Tabla 9).

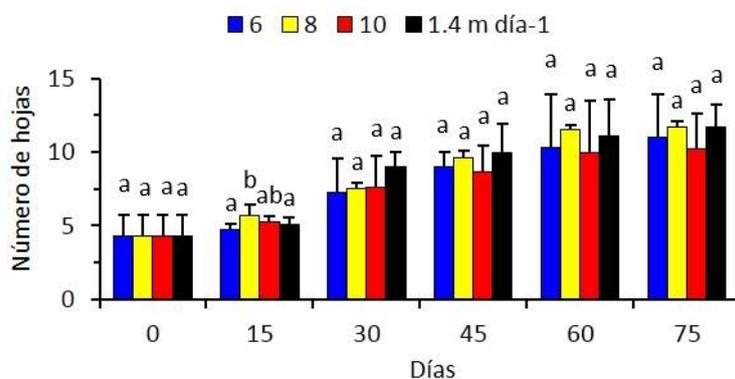


Figura 7. Número de hojas de *L. sativa* con diferentes TCH en cultivo acuapónico.

Tabla 9. Parámetros de crecimiento en el número de hojas de *L. sativa* cultivada con diferentes TCH, durante 75 días. (Media  $\pm$  desviación estándar).

Parámetros	TCH del cultivo acuapónico			TCH de hidroponía
	6 m día <sup>-1</sup>	8 m día <sup>-1</sup>	10 m día <sup>-1</sup>	1.4 m día <sup>-1</sup>
NH inicial (cm)	4.0 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>			
NH final (cm)	11.0 $\pm$ 1.19 <sup>a</sup>	12.0 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	10.0 $\pm$ 0.98 <sup>a</sup>	12.0 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>
TCA (cm día <sup>-1</sup> )	0.09 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.10 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.08 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.10 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>
TCE (% día <sup>-1</sup> )	1.24 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	1.33 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	1.14 $\pm$ 0.30 <sup>a</sup>	1.33 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup>

NH: Número de hojas. TCA: Tasa de crecimiento absoluta. TCE: Tasa de crecimiento específica. Datos con letras diferentes en superíndices en una fila indica diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

## V. DISCUSIÓN

### Calidad del agua

Para el cultivo de tilapia se recomienda temperaturas entre 28°C y 32 °C, aunque con un mínimo de 23°C (Saavedra, 2006; Tsang & Quintanilla, 2008). En cambio, la temperatura para el desarrollo de lechuga es entre 13°C y 25 °C con un óptimo entre 16°C y 22°C (Saavedra, 2017). En el presente estudio, la temperatura del agua fue similar ( $p>0.05$ ) entre tratamientos y fue de ~24.4 °C, siendo aceptable para ambas especies.

El pH básico aumenta la toxicidad de  $\text{NH}_3$  y si se reduce el pH la toxicidad del nitrito puede ser un problema, además, los niveles altos y bajos de pH también disminuyen el proceso de nitrificación (Colt, 2006; Timmons *et al.*, 2009). El rango de tolerancia de pH para el cultivo de tilapia es entre 7 y 9 (Ross, 2000) y el pH óptimo para una buena absorción de nutrientes por las plantas de lechuga es entre 6.2 y 7.6 (Timmons *et al.*, 2009). El pH del agua durante el período de estudio fue de 6.82 y 7.17 unidades y fue similar entre tratamientos ( $p>0.05$ ), lo que indicaría que la TCH no afectó el pH del agua, siendo deseables para crecimiento de tilapia y de lechuga, y para el funcionamiento del biofiltro. Estos resultados están de acuerdo con Shete *et al.* (2016), quienes indicaron que diferentes TCH no afectan la variación del pH del agua en un sistema acuapónico.

La concentración de NAT fue similar ( $p>0.05$ ) entre tratamientos, aunque hubo incremento con las TCH de 6 y 10 m día<sup>-1</sup>, y con el control, excepto en la TCH de 8 m día<sup>-1</sup>. Estos resultados indicarían que un menor o mayor intercambio de agua en el biofiltro acumula el NAT en el agua de cultivo de los peces. Franco-Nava *et al.* (2004) consideraron que hay mayor excreción de nitrógeno en peces mantenidos en un mayor caudal como consecuencia de una mayor actividad de natación, mientras que Dediu *et al.* (2012) no encontraron ningún efecto significativo en la tasa de excreción de nitrógeno debido a las tasas variables de flujo de agua. En cambio, Shete *et al.* (2016), consideraron que la concentración del NAT disminuye con el incremento de la TCH.

La disminución del NAT es paralela al incremento de nitratos lo que indica buena nitrificación del agua de cultivo (Jamieson *et al.*, 2003; Rakocy *et al.*, 2006; Endut *et al.*, 2010), tal como se evidenció al acumularse los nitratos ( $> 83 \text{ mg L}^{-1}$ ) en el agua de todos los tratamientos al final de experimento. El nitrato es relativamente no tóxico para los peces y no es un peligro para la salud, excepto a niveles superiores a  $90 \text{ mg L}^{-1}$  (Stone & Thomforde, 2004). La concentración de nitratos fue alta (83 a  $88 \text{ mg L}^{-1}$ ) en el agua de

todos los tratamientos ( $p > 0.05$ ) incluido con el control, lo que indicaría que hubo deficiente utilización por parte de las plantas.

El amonio es tóxico en bajas concentraciones y su letalidad varía según la especie, desde  $0.08 \text{ mg L}^{-1}$  para el salmón rosado hasta  $2.2 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{NH}_3$  para la carpa común; recomendando mantenerlo entre  $0.05$  y  $0.10 \text{ mg L}^{-1}$  (Merino, 2011). En tilapia la concentración de  $0.25 \text{ mg L}^{-1}$  de amonio no afecta la supervivencia, pero afecta el crecimiento (Gullian-Klanian & Arámburu-Adame, 2013). En el estudio, los valores de amonio fueron bajos ( $0.01$  y  $0.02 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Los nitritos son productos intermedios en el proceso de nitrificación del amoníaco a nitrato y su incremento por falta de oxidación biológica, es tóxico al producir metahemoglobina, por lo que se recomienda mantenerlo por debajo de  $1 \text{ mg L}^{-1}$  para optimizar la producción (Timmons *et al.*, 2009). Los nitritos disminuyeron de  $1.86$  a  $1.36 \text{ mg L}^{-1}$  con el incremento de la TCH de  $6$  a  $10 \text{ m día}^{-1}$ , aunque sin diferencias significativas, sin embargo, sugiere algún efecto de la TCH, lo que se sustenta por el incremento de nitritos en el sistema de recirculación de agua sin acuaponía ( $2.42 \text{ mg L}^{-1}$ ), aunque no hubo mortalidades de peces, pero es probable que los peces estuvieran en estrés.

## **Tilapia**

Las TCH de  $8$  y  $10 \text{ m día}^{-1}$  fueron las que permitieron que haya mayor crecimiento ( $p < 0.05$ ) en peso y en longitud de *O. niloticus*, después de  $75$  días de cultivo, comparados con la TCH de  $6 \text{ m día}^{-1}$  y con el control. Sin embargo, con la TCH de  $8 \text{ m día}^{-1}$  hubo menor acumulación de productos nitrogenados, en relación con los demás tratamientos. Estos resultados sugieren que una lenta TCH afecta el crecimiento de los peces, probablemente por la acumulación de productos nitrogenados. La acumulación de los compuestos nitrogenados en el agua de cultivo afecta el metabolismo y reduce el crecimiento de los animales acuáticos (Colt, 2006). En *C. carpio*, el mayor crecimiento se obtiene con la TCH de  $6 \text{ m día}^{-1}$  y es el resultado de mejores parámetros de calidad del agua (Shete *et al.*, 2016). En cambio, en *C. gariepinus* se requiere solo una TCH de  $1.28 \text{ m día}^{-1}$  para lograr una mayor tasa de crecimiento y menor conversión alimenticia (Endut *et al.*, 2010).

Los resultados muestran que con la TCH de  $8 \text{ m día}^{-1}$  la producción ( $8.43 \text{ kg m}^{-3}$ ) de *O. niloticus* fue significativamente ( $p < 0.05$ ) mayor con respecto a los demás

tratamientos debido a que los parámetros de calidad de agua fueron adecuados para el crecimiento de la especie. Rakocy en Timmons *et al.* (2009) consideraron que la producción de peces puede llegar a su máxima eficiencia  $60 \text{ kg m}^{-3}$  si se dimensiona adecuadamente el sistema y se controla correctamente los parámetros de cultivo, así como los de calidad del agua. Esto explica los resultados de la alta TCH y el incremento de los compuestos nitrogenados.

## **Lechuga**

La longitud total, longitud de la raíz, longitud de la hoja, y el número de hojas de *L. sativa* fueron similares ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos; aunque estos parámetros disminuyeron con el incremento de la TCH, lo que sugiere que  $TCH > 10 \text{ m día}^{-1}$ , afectará el crecimiento de la lechuga, probablemente por disminución del tiempo de contacto de los compuestos nitrogenados con las nitrobacterias de las raíces de las plantas. Menor crecimiento y producción de *M. arvensis* se obtiene con TCH de  $12 \text{ m día}^{-1}$ , debido al insuficiente tiempo de contacto de las raíces para asimilar nitrógeno del medio; además, la tasa de crecimiento se reduce significativamente con un aumento en TCH que se apoya en el desarrollo de condiciones aeróbicas en el canal hidropónico que dificulta el proceso de desnitrificación (Shete *et al.*, 2016).

Además, el alargamiento inusual en las hojas y tallos de *L. sativa* en todos los tratamientos podría ser consecuencia de la baja intensidad de luz o de otras condiciones que no fueron previstas en laboratorio. Saavedra *et al.* (2017) consideraron que la lechuga es una planta anual que bajo condiciones de fotoperiodo largo (más de 12 h luz) acompañado de altas temperaturas ( $24 - 26^\circ\text{C}$ ) emite su tallo floral es decir alargamiento del tallo, aparición de flor y finalmente semilla, siendo más sensibles las lechugas de tipo oreja (hojas sueltas) que las de cabeza (hojas en cogollo); además, exigen mucha intensidad lumínica, la limitación de luz provoca que las hojas sean delgadas y se alarguen en dirección a la luz de mayor intensidad, llegando a soltarse los cogollos. Esto explicaría el crecimiento inusual que tuvo *L. sativa* debido a las condiciones experimentales, lo que condujo a un pobre crecimiento.

La diferentes TCH no afectaron la producción de lechuga ( $0.90$  a  $0.11 \text{ kg m}^{-2}$ ) siendo similares ( $p > 0.05$ ) entre tratamientos, debido probablemente a que en el laboratorio la fuente de luz fue limitada al utilizar fluorescentes de 40 watts que solo se obtuvo entre 600 a 800 lux. Flores *et al.* (2011) acotaron que la luz solar se puede registrar hasta

120 000 lux en un día despejado en verano esto es una carga energética muy grande para la fotosíntesis de las plantas y debe de tenerse en cuenta para el buen desarrollo de las plantas. Además, es probable que el incremento de sólidos suspendidos totales, aunque no se cuantificaron, sin embargo, se observó que cubrieron las raíces de las plantas (40 a 80%), debido a que el sistema de retención de sólidos llegó a su límite y permitió el paso al sistema acuapónico lo que debe haber afectado el desarrollo al evitar o disminuir la absorción de nutrientes y la respiración. Rakocy en Timmons *et al.* (2009) consideraron que en las camas de cultivo de plantas los sólidos suspendidos totales, al estar en descomposición por una flora microbiana disminuyen el oxígeno disuelto resultando en una baja absorción de agua y nutrientes que llegan a acumularse sobre las raíces causando zonas anóxicas que conllevan a muerte radicular y a pudrición de la misma. Por consiguiente, es recomendable disponer de un sistema de sedimentación de sólidos suspendidos para evitar alterar las raíces de las plantas en el sistema NFT.

## VI. CONCLUSIONES

Las tasas de carga hidráulica de 8 y 10 m día<sup>-1</sup>, ocasionaron mayor crecimiento ( $p < 0.05$ ) en longitud y peso de *O. niloticus*, en relación con el de 6 m día<sup>-1</sup>, en el cultivo acuapónico con *L. sativa*.

Las tasas de carga hidráulica de entre 6 y 10 m día<sup>-1</sup>, no tuvieron efecto significativo ( $p > 0.05$ ) en el crecimiento de *L. sativa* con el cultivo acuapónico con *O. niloticus*.

La tasa de carga hidráulica entre 6 y 10 m día<sup>-1</sup> no ocasionó disminución ( $p > 0.05$ ) de los compuestos nitrogenados en el cultivo acuapónico de *O. niloticus* con *L. sativa*.

## VII. RECOMENDACIONES

En sistema acuapónico los vegetales deben tener una iluminación adecuada o cercana a la del ambiente al aire libre, para mejorar la fotosíntesis, evitar el alargamiento de los tallos y hojas e incrementar la producción.

Se debe agregar adicionalmente los nutrientes que son escasos en los sistemas acuapónicos como el potasio y hierro para mejorar la producción.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantar, G.G. & L.I. Trejo-Téllez. 2009. Nutrición de cultivo. Ed Mundi – Prensa, México. 454 pp.
- Baltazar, P.M. (2007). La tilapia en el Perú: acuicultura, mercado, y perspectivas. *Rev. Perú. Biol.* Número especial 13(3): 267 - 273.
- Barraza, C., Guzmán, G., Cantú, D. (2009). Sistemas de producción de acuicultura con recirculación de agua para la región norte, noreste y noroeste de México. *Revista Mexicana de Agro Negocios*, 25: 117-130.
- Beltrano, A. (2015). Introducción al cultivo hidropónico. Pp. 10-33. In: Beltrano, J., Gimenez, D.O. (Eds). Cultivo en hidroponía. Libros de cátedra. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Birgi, J.A. (2015). Producción Hidropónica de hortalizas de hoja. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Santa Cruz, Argentina.
- Brummett, R., Noel, A. (1994). Polyculture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in earthen ponds. *Aquaculture*, 122: 47-54.
- Buzby, K. M. y L. Lin, 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*, 63: 39-44.
- Caló, P. (2011). Introducción a la acuaponía. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola-CENADAC. Argentina. Disponible en: <http://chilorg.chil.me/download-doc/86262>
- Campos, P. (2013). Evaluación de siete tipos de vegetales herbáceas cultivadas en acuaponía usando el efluente del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) en condiciones salobres. [Tesis Bachiller]. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas, Veracruz. México.
- Carbone, A. (2015). Nutrición mineral. Pp. 62-72. In: Beltrano, J., Gimenez, D.O. (Eds). Cultivo en hidroponía. Libros de cátedra. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. disponible en:

[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Chaguay, Y. (2004). Evaluación del crecimiento en etapa de pre cría de tilapia roja (*Oreochromis* sp.), utilizando cinco niveles de proteína en tanques abiertos. [Tesis de Grado]. Escuela Superior politécnica del Litoral. Guayaquil. Ecuador.
- Colt, J. (2006). Water quality requirements for reuse systems. *Aquaculture Engineering*, 34: 143-146. doi:10.1016/j.aquaeng.2005.08.011
- Dediu, L., Cristea, V., Xiaoshuan, Z. (2012). Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *Afr. J. Biotechnol.*, 11 (9): 2349-2358.
- Diver, S. (2006). Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. *Attra*, 1-28
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nick, W. B., Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101, 1511–1517.
- FAO. (2018). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. FAO Fisheries Department, Rome. p. 220 [on line]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i9540es/i9540es.pdf>
- Fitzsimmons, K. (1999) Arizona Aquaculture Best Management Practices. Department of Environmental Quality, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2014)(<http://www.fao.org/home/en/>) Sitio web oficial de la FAO, contiene información sobre acuicultura, glosarios y estadísticas.
- Flores Ortega, A, Martínez S.G., J. Quiroz R.C., Díaz Serrano R., Romero Valdez M.E., (2011) Análisis de la transmitancia de luz en un invernadero para producción de jitomate. *Acta universitaria*, Vol. 22. Universidad de Guanajuato, México.
- Franco-Nava, M.A., Blancheton, J.P., Deviller, G., Charrier, A., Le-Gall, J.Y. (2004). Effect of fish size and hydraulic regime on particulate organic matter dynamics in a recirculating aquaculture system, elemental carbon and nitrogen approach. *Aquaculture*, 239: 179-198.
- Gullian-Klanian, M., Arámburu-Adame, C. (2013). Performance of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings in a hyper-intensive recirculating aquaculture

system with low water Exchange. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(1): 150-162. doi: 103856/vol41-issue1-fulltext-12

Hafedh, Y., Alam, A.y Salaheldin, M. (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.

Hasan, R., Macintosh, D. (1986). Acute toxicity of ammonia to common carp fry. *Aquaculture*, 54: 97-107.

Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A.C.y Khana, S.K., 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology* 188, pp. 92-98.

Hundley, G. C., Navarro, R.D. 2013. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável* 3(2), pp. 52-61. Disponible en: <http://www.rbas.com.br/index.php/rbas/article/view/218/214>

Hurtado, H., Rodríguez, D., Gómez, E., Sabogal, D., Ramírez, D. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. *Ciencias Básicas*, 5(1): 154-170.

Hussain, T., Verma A., Tiwari V., Prakash C., Rathore, G., Shete, A., Saharan, N. (2015). Effect of water flow rates on growth of *Cyprinus carpio* var. *koi* (*Cyprinus carpio* L., 1758) and spinach plant in aquaponic system. *Aquaculture International*, 23: 369- 384.

Izquierdo J. (2003). Cartillas de capacitación sobre hidroponía simplificada. Oficial Regional de Producción Vegetal. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Casilla 10095, Santiago, Chile.

Jamieson, T.S., Stratton, G.W., Gordon, R., Madani, A., 2003. The use of aeration to enhance ammonia nitrogen removal in constructed wetlands. *Canadian Biosystems Engineering* 45, 1.9–1.14.

Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E. S., Genello, Laura., Semmens, K. y R.E. Thompson. (2015). Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture*, 435: 67–74.

- Maigual, E., Sánchez O., Matsumoto T. (2010). Desempeño de tanques decantadores de sólidos en un sistema de recirculación para producción de tilapia. *Rev. MVZ Córdoba*, 18(2): 3492-3500.
- Marulanda, C. (2003). Manual técnico la huerta hidropónica popular. FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-ah501s.pdf>
- Mäkinen, T., Lindgren, S., Eskelinen, P. (1988). Sieving as an effluent treatment method for aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 7: 367-377.
- Mohapatra, R.K., R.K. Rout & S. Bandyopadhyay. 1989. Performance of packed column aerator at low hydraulic loading. *Aquacultural Engineering*, 8: 393-405.
- Moreno W., Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *Rebiol*, 34(2): 60-72.
- Morgado, A. 2014. Balance de nutrimentos en un sistema acuapónico de tilapia-jitomate. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Muñoz, M. (2012). Sistemas de recirculación acuapónicos. Informador técnico (Colombia) Edición 76: 123 – 129.
- Petrea, S.M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Lupoae, P., Mocanu, M., Coadă, M.T. (2013). Vegetable production in an integrated aquaponic system with rainbow trout and spinach. *Animal Science and Biotechnologies*, 70(1): 45-54.
- Rakocy, J., Hargreaves, J., Bailey, D. (1993). Nutrient accumulation in a recirculation aquaculture system integrated with vegetable hydroponics. In: Wang, J.K. (Ed.), *Techniques for Modern Aquaculture. Proceedings of a Conference, 21–23 June 1993, Spokane, WA*, pp. 148-158.
- Rakocy, J., Masser, M., Losordo, T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-integrating fish and plant culture. *Souther Regional Acuculture Center*, 154: 1-16.
- Rakocy, J. (2007). Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics Journal*, 46: 14-17.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Jiménez, P., Hurtado Giraldo, H. (2017). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 4(1-2): 32-51. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2230>

- Resh, H.M. (1995). Hydroponic food, production. woodbridge press. San Ramón California. Estados Unidos. 251 p. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/la-industria-de-los-cultivos-hidroponicos>
- Ross, L.G. 2000. Environmental physiology and energetics. In: M.C.M. Beveridge & B.J. McAndrew (eds.). Tilapias: biology and exploitation, fish and fisheries. Series 25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 89-128.
- Rubio, S.G. (2012). Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca sativa* en acuaponia. [Tesis Maestría]. Instituto Politécnico. Nacional. Ecuador.
- Saavedra, G., Corradini, F., Antúnez, A., Felmer, S., Estay, P., Sepúlveda, P. (2017). Manual de producción de lechuga. Instituto de desarrollo agropecuario – Instituto de investigaciones *Agropecuarias*, 9: 27 – 32.
- Saavedra, M. A. (2006). Texto de Asignatura Producción Agropecuaria y Acuícola. Carrera Ingeniería Industrial. Departamento de Tecnología y Arquitectura. Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Universidad Centroamericana. Managua, Nicaragua. Marzo, 2006.
- Sádaba S., Del Castillo J., Sanz J., Amaya U., Aguado, G. (2007). Lechuga en cultivo hidropónico. Tecnologías e infraestructuras agroalimentarias. Navarra agraria. Artículo Técnico.
- Shete, A.P., Verma, A.K., Chadha, N.K., Prakash, C., Peter, R.M., Ashmad, I. (2016). Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with common carp (*Cyprinus carpio*) and mit (*Mentha arvensis*). *Aquaculture Engineering*, 72: 53-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.04.004>
- Sikawa, D. C y A. Yakupitiyage. 2010. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* × *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. *Agricultural Water Management*, 97: 1317–1325.
- Silva, C.A. 2012. Estudio para evaluar el balance de masas de nutrientes y la calidad de agua en un sistema experimental de acuaponía. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico de Sonora. México. Disponible en: [http://biblioteca.itson.mx/dac\\_new/tesis/322\\_silva\\_crhistian.pdf](http://biblioteca.itson.mx/dac_new/tesis/322_silva_crhistian.pdf)

- Stone, N.M., Thomforde, H.K. (2004). understanding your fish pond water analysis report, cooperative extension program. University of Arkansas at Pine Bluff, United States Department of Agriculture, pp. 1-4. Disponible en: <https://fisheries.tamu.edu/files/2013/09/Understanding-Your-Fish-Pond-Water-Analysis-Report.pdf>
- Timmons, M. y Ebeling, J. (2010). Recirculating aquaculture. 2nd Edition. Cayuga Aqua Venture. N.Y., U.S.A.
- Timmons, M., Ebeling, J., Piedrahita, R., Hevia, M., Parada, G., y Labatut, R. (2009). Acuicultura en Sistemas de Recirculación. Ithaca, NY: Cayuga Aqua Ventures Llc.
- Turkmen, G. & Y. Guner. 2010. Aquaponic (Integrating fish and plant culture) systems. En: 2nd International Symposium on Sustainable Development, June 8-9 2010, Sarajevo.
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D. y E.H. Simonne. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Hor technology*, 21 (1).
- Watten, B.J., D.C. Honeyfield & M.F. Schwartz. 2000. Hydraulic characteristics of a rectangular mixed-cell rearing unit. *Aquacultural Engineering*, 24: 59-73.

# Tasa de carga hidráulica del cultivo acuapónico de *O niloticus* y *L. sativa*

## INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

ÍNDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="http://www.lamolina.edu.pe">www.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid Trabajo del estudiante	1%
5	<a href="http://megujuloenergipark.hu">megujuloenergipark.hu</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org">unimilitar-dspace.metabiblioteca.org</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://www.redalyc.org">www.redalyc.org</a> Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas	<1%



**dspace.unitru.edu.pe**

Fuente de Internet

**<1%**

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 40 words

Excluir bibliografía

Activo