



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
PEDRO RUÍZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA - ZOOLOGÍA

**PRODUCCIÓN DE *Oreochromis niloticus* var. Chitralada  
"Tilapia gris" y *Lactuca sativa* "Lechuga" EN UN  
SISTEMA ACUAPÓNICO CON DIFERENTES  
DENSIDADES DE PECES**

# **TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**LICENCIADO EN**

**BIOLOGÍA - PESQUERÍA**

**PRESENTADO POR Br:**

**GABRIELA SANDY CULCOS FIGUEROA**

**CARMEN ROSA TUCTO LLAGUENTO**

**LAMBAYEQUE - PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUÍZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA - ZOOLOGÍA**

## **TESIS**

**PRODUCCIÓN DE *Oreochromis niloticus* var. Chitralada  
“Tilapia gris” y *Lactuca sativa* “Lechuga” EN UN  
SISTEMA ACUAPÓNICO CON DIFERENTES  
DENSIDADES DE PECES**

***Tesis presentada por:***

***Br. Gabriela Sandy Culcos Figueroa***

***Br. Carmen Rosa Tucto Llaguento***

***Para optar el Título Profesional de***

***Licenciado en BIOLOGÍA - PESQUERÍA***

***LAMBAYEQUE – PERÚ***

***2018***

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUÍZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PESQUERÍA - ZOOLOGÍA**

**TESIS**

**PRODUCCIÓN DE *Oreochromis niloticus* var. Chitralada  
“Tilapia gris” y *Lactuca sativa* “Lechuga” EN UN  
SISTEMA ACUAPÓNICO CON DIFERENTES  
DENSIDADES DE PECES**

***TESIS PRESENTADA POR:***

***Gabriela Sandy Culcos Figueroa***

***Carmen Rosa Tucto Llaguento***

***PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA - PESQUERÍA***

***Aprobada por:***

<b>PRESIDENTE</b>	<b>:</b>	<hr/> Dr. Segundo Juan López Cubas
<b>SECRETARIO</b>	<b>:</b>	<hr/> Dr. Wilmer Carbajal Villalta
<b>VOCAL</b>	<b>:</b>	<hr/> MSc. Jorge Luis Chanamé Céspedes
<b>PATROCINADOR (A)</b>	<b>:</b>	<hr/> MSc. María Victoria Lora Vargas

# DEDICATORIA

## A DIOS

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y permitirme lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

## A MI MADRE OLGA

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus desvelos, consejos, sus valores, por la motivación constante que ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su grandioso amor.*

## A MI PADRE RAÚL

*Por su ejemplo de perseverancia y constancia que lo caracterizan y su gran amor.*

## A MIS HERMANOS ERICK Y RONALD

*Por su apoyo constante, a mi sobrino Rodrigo y a toda mi familia en general por estar siempre conmigo de manera incondicional, los quiero mucho.*

*Gabriela*

## A DIOS

*Porque, desde el comienzo de mi existir, ha permanecido a mi lado enseñándome  
a caminar y amortiguando mis caídas.*

*Porque, aunque la tierra cambie a través del tiempo y este siga avanzando,  
continúa junto a mí, protegiendo mis pasos y alertándome del peligro.*

*Porque, me ha permitido compartir buenos y gratos momentos, con unos padres  
maravillosos, hermanos especiales, grandes amigos, excelentes y admirables  
maestros, y geniales colegas.*

*Porque, destinó para mí elegir la carrera correcta, convirtiéndome en  
Bióloga - Pesquera.*

*Porque, la carrera que elegí me permite comprender de manera más precisa su  
perfecta creación "La Naturaleza y todo lo que habita en ella", dedicando mi  
vida en ello.*

*Porque, de ha ahora en adelante gracias al conocimiento adquirido en mi querida  
Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, me forjaré como una gran  
profesional, siempre de su mano, "Dios, mi mejor amigo".*

*Carmen*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la MSc. María Victoria Lora Vargas, asesora de la tesis, nuestro sincero agradecimiento por brindarnos su apoyo incondicional, profesionalismo, amistad sincera y tiempo valioso en la realización del presente trabajo.*

*Al Dr. Segundo Juan López Cubas, por su acertada orientación en la presente investigación.*

*A todos nuestros profesores de la Carrera de Biología y del Área de pesquería: Jorge Chanamé, Jorge Fupuy, Elsa Angulo, Wilmer Carbajal, Rosmery Tello y Karen Mercado por sus sabios conocimientos brindados a lo a largo de nuestra carrera.*

*Al Sr. Ricardo, Técnico encargado del Laboratorio de Pesquería, por apoyarnos y brindarnos facilidades durante la especialidad.*

*A nuestros amigos y compañeros de estudio, por compartir gratos momentos al comienzo y final de nuestra vida universitaria: Astrid, Joselin, Leslie, Medalit, Joe, Paola, Danelly, Juana, Cindy, Meche, Ericka, Jiuliana, Manuel, Yajaira, y otros que a pesar no ser mencionados, tienen conocimiento de nuestro profundo cariño y gratitud.*

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
2.1 Ubicación .....	6
2.2 Infraestructura .....	6
2.3 Diseño Experimental .....	7
2.4 Material Biológico .....	11
2.4.1 Peces .....	11
2.4.2 Plantas .....	11
2.5 Siembra de alevinos y plántulas en el sistema acuapónico .....	11
2.6 Alimentación de los peces .....	11
2.7 Control de crecimiento .....	12
2.8 Control de los parámetros físico – químicos del agua .....	12
2.9 Evaluación económica .....	14
2.10 Análisis estadístico .....	14
III. RESULTADOS .....	11
3.1 Crecimiento de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada .....	11
3.2 Crecimiento de <i>L. sativa</i> .....	24
3.3 Producción .....	29
3.4 Alimentación, Factor de Conversión y Eficiencia Alimenticia .....	29
3.5 Relación Peso - Longitud .....	33
3.6 Evaluación Económica del Experimento .....	33
3.7 Características Físico - Químicas del Agua .....	36
IV. DISCUSIÓN .....	41
V. CONCLUSIONES .....	52
VI. RECOMENDACIONES .....	53
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<b>TABLA 1.</b> Diseño experimental, denominación de tratamientos, densidad (peces/m <sup>3</sup> ), población total, longitud total y peso medio de siembra de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada y <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	10
<b>TABLA 2.</b> Longitudes y Pesos medios de siembra y mensuales de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	17
<b>TABLA 3.</b> Análisis de varianza para determinar el efecto de la densidad, el tiempo y su interacción, sobre el crecimiento en longitud y peso de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	20
<b>TABLA 4.</b> Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas mes a mes en cada tratamiento, entre las longitudes medias de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	21
<b>TABLA 5.</b> Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas mes a mes en cada tratamiento, entre los pesos medios de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	22
<b>TABLA 6.</b> Longitudes y Pesos medios de siembra y por campaña de <i>L. sativa</i> , cultivada, cultivada con <i>O. niloticus</i> var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	25
<b>TABLA 7.</b> Análisis de varianza para determinar el efecto de la densidad, el tiempo y su interacción, sobre el crecimiento en longitudes de raíz, hoja, y peso de <i>L. sativa</i> , cultivada con <i>O. niloticus</i> var.	



	Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	27
<b>TABLA 8.</b>	Incrementos entre campañas de las longitudes de raíz, hoja y pesos medios de <i>L. sativa</i> , cultivada con <i>O. niloticus</i> var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	27
<b>TABLA 9.</b>	Producción total (kg), bruta (kg/m <sup>3</sup> ) y neta (kg/m <sup>3</sup> ) de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	30
<b>TABLA 10.</b>	Producción total (kg), bruta (kg/m <sup>2</sup> ) y neta (kg/m <sup>2</sup> ) de <i>L. sativa</i> , cultivada con <i>O. niloticus</i> var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	30
<b>TABLA 11.</b>	Biomasa y Cantidad de alimento total, diario, por planta y tratamiento suministrado a <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	32
<b>TABLA 12.</b>	Parámetros de la relación peso-longitud, factor de condición alométrico comparativo y prueba de t para el exponente b de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	34
<b>TABLA 13.</b>	Mérito económico de la producción de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada y <i>L. sativa</i> , en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	34
<b>TABLA 14.</b>	Retorno por sol invertido en la producción de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada y <i>L. sativa</i> , en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>FIGURA 1.</b> Ubicación del Laboratorio particular donde se ejecutó la Investigación, Distrito de Lambayeque, Departamento de Lambayeque. Fuente: Mapa del Perú y localización modificado de <a href="http://www.enperu.org">www.enperu.org</a> y Google Maps.	8
<b>FIGURA 2.</b> Infraestructura: tanque de cultivo (A), cama hidropónica de raíz flotante (B) abasteciéndose por gravedad con el agua de los peces previamente filtrada (C-D), almácigos sostenidos en esponjas (E) para ser sembrados (F), y sistema acuapónico.	9
<b>FIGURA 3.</b> Control de crecimiento de tilapia en longitud mediante un ictiómetro (A) y en peso mediante una balanza digital (B).	13
<b>FIGURA 4.</b> Control de crecimiento de raíz (A) y hoja (B) de la lechuga.	13
<b>FIGURA 5.</b> Kits SERA y termohigrómetro digital (A) utilizados durante los controles mensuales de parámetros físico-químicos (B).	13
<b>FIGURA 6.</b> Variaciones de las longitudes (A) y pesos (B) medios mensuales de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	18
<b>FIGURA 7.</b> Gráfica de superficie de longitud (A) y peso (B) vs densidad, tiempo de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	19
<b>FIGURA 8.</b> Incrementos mensuales de longitudes (A) y pesos medios (B) de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	23
<b>FIGURA 9.</b> Variaciones de las longitudes raíz (A), hoja (B) y pesos (C) medios por campaña y tratamiento de <i>L. sativa</i> , cultivada con <i>O. niloticus</i> var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	26

<b>FIGURA 10.</b>	Intervalos de confianza para las diferencias entre las medias de la longitud de raíz (A), hoja (B) y pesos (C) medios entre tratamientos de <i>L. sativa</i> , cultivada con <i>O. niloticus</i> var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	28
<b>FIGURA 11.</b>	Producciones total, bruta y neta de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada (A) y <i>L. sativa</i> (B), en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	31
<b>FIGURA 12.</b>	Factor de conversión y eficiencia alimenticia por tratamiento de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	32
<b>FIGURA 13.</b>	Variaciones mensuales de temperatura ambiental, y temperatura del agua por tanque de cultivo de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	38
<b>FIGURA 14.</b>	Variaciones mensuales de pH por tanque de cultivo de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	38
<b>FIGURA 15.</b>	Variaciones mensuales de oxígeno disuelto por tanque de cultivo de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	39
<b>FIGURA 16.</b>	Variaciones mensuales de dióxido de carbono por tanque de cultivo de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	39
<b>FIGURA 17.</b>	Variaciones mensuales de nitritos por tanque de cultivo de <i>O. niloticus</i> var. Chitralada, cultivado con <i>L. sativa</i> en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.	40

**FIGURA 18.** Variaciones mensuales de amonio por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

40

## RESUMEN

Los objetivos de la presente investigación fueron: determinar y comparar la producción de *Oreochromis niloticus* var. Chitralada “tilapia gris” y *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces y seleccionar el tratamiento que brinde el mejor crecimiento. Se aplicó el Diseño Experimental de Estímulo Creciente, con tres tratamientos sin repetición, siendo el factor la densidad de peces: 167 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>), 250 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>2</sub>) y 333 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>3</sub>); con poblaciones de 50, 75 y 100 peces, respectivamente, en tanques de fibra de vidrio con un volumen útil de 0,3 m<sup>3</sup>. Para el cultivo las lechugas se utilizó el sistema de raíz flotante (SRF), sembrándose 20 lechugas por tratamiento, utilizando camas hidropónicas de 0,56 m<sup>2</sup>. El crecimiento de los peces y las características físico-químicas fueron evaluados mensualmente, y cada tres meses (por campaña) el crecimiento de las lechugas. El efecto de la densidad de peces sobre el crecimiento de las tilapias y de las lechugas se determinó a través del análisis de varianza y prueba de Tukey.

El crecimiento de *O. niloticus* var. Chitralada fue afectado por la densidad de peces en relación indirecta, siendo mayor en 167 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>): 222,90 mm y 205,58 g; pero en relación directa con *L. sativa* que en ambas campañas mostró mejor crecimiento en el T<sub>3</sub> (333 peces/m<sup>3</sup>) con promedios de: 203,50 mm (longitud de raíz), 306,00 mm (longitud de hoja) y 198,15 g (peso fresco). El mejor factor de conversión, eficiencia alimenticia y rendimiento económico, correspondió la densidad de 167 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>).

Las características físico-químicas del agua, se encontraron dentro de los límites aceptados para el desarrollo de ambas especies en un sistema acuapónico.

**Palabras clave:** Acuaponía, *Oreochromis niloticus* y *Lactuca sativa*, sistema de raíz flotante, cama hidropónica, densidad de peces.

## ABSTRACT

The objectives of the present investigation were: To determine and compare the production of *Oreochromis niloticus* var. Chitralada "Chitralada Tilapia" and *Lactuca sativa* "Lettuce" in an aquaponic system at different densities of fish and select the treatment that provides the best growth. The Experimental Design of Growing Stimulus was applied, with three treatments without repetition, being the fish density factor: 167 fish/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>), 250 fish/m<sup>3</sup> (T<sub>2</sub>) and 333 fish/m<sup>3</sup> (T<sub>3</sub>); with populations of 50, 75 and 100 fish, respectively, in fiberglass tanks with a useful volume of 0,3 m<sup>3</sup>. For the cultivation of the lettuce, the floating root system (SRF) was used, with 20 lettuces being planted per treatment, using hydroponic beds of 0,56 m<sup>2</sup>. The growth of the fish and the physical and chemical characteristics were evaluated monthly, and every three months (per campaign) the growth of the lettuce. The effect of fish density on the growth of tilapia and lettuce was determined through the analysis of variance and Tukey test.

The growth of *O. niloticus* var. Chitralada was affected by the density of fish in indirect relation, being higher in 167 fish/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>): 222,90 mm and 205,58 g; but in direct relation with the one of *L. sativa* that in both campaigns showed better growth in T<sub>3</sub> (333 fish/m<sup>3</sup>) with averages of: 203,50 mm (root length), 306,00 mm (length) and 198,15 g (fresh weight). The best conversion factor, food efficiency and economic performance, corresponded to the density of 167 fish/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>).

The physical-chemical characteristics of the water were found within the accepted limits for the development of both species in an aquaponic system.

**Key words:** Aquaponics, *Oreochromis niloticus* and *Lactuca sativa*, floating root system, hydroponic bed, fish density.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Todas las actividades productivas generan desechos que, de ser vertidos directamente al medio natural, van a contaminarlo, trayendo problemas a los ecosistemas, el paisaje y la salud; de ahí que existe la preocupación de tratarlos adecuadamente para minimizar estos impactos negativos. Esta situación no es ajena a la acuicultura, actividad cuyo desarrollo en tasas que bordean el 10 % anual, demanda un mayor consumo de agua y genera residuos; es por ello que se están desarrollando tecnologías orientadas a incrementar la producción reutilizando el agua previo tratamiento y un gasto mínimo de la misma como la recirculación, o también, asociándola con otra actividad productiva como la hidroponía.

La acuaponía es una técnica de cultivo que asocia el cultivo intensivo de peces con recirculación y la hidroponía, en el cual el primero aporta el agua rica en nutrientes procedente del cultivo de peces y previamente tratada, para el cultivo de vegetales del sistema hidropónico, que se nutren del nitrógeno en forma de nitritos y nitratos, que nuevamente regresa al tanque de cultivo de peces, con niveles adecuados para su desarrollo.

Según Lewis, Yopp, Schramm and Brandenburg (1978) los primeros ensayos publicados en acuaponía se remontan a la década del '70, donde se demostró que los desechos metabólicos que los peces generaban podían ser utilizados para el cultivo de plantas, en forma hidropónica. Sin embargo, no fue sino hasta la década del '90 que se empezaron a obtener datos concretos aplicables a producciones comerciales.

De acuerdo con Church and Pond (1982) y Rakocy (1989), los productos producidos en acuaponía son considerados “productos orgánicos” al no emplear químicos como plaguicidas y fertilizantes, además de aprovechar el alimento no consumido por los peces, ya que solo un 20 a 30% de este se metaboliza e incorpora como tejido muscular, mientras que el 60% a 70% se encuentra en la excreción al ser alimento no consumido y diluido, porcentaje de nutrientes que utilizado por las plantas para su crecimiento a través de la filtración, con la consiguiente reducción del amonio y amoniaco producido por los peces.

Asimismo, García, León, Hernández y Chávez (2005) indican que la acuaponía es un sistema de producción de alimentos que incluye la incorporación de dos o más componentes (peces y plantas), en un diseño basado en la recirculación del agua; igualmente, señalan que el principio básico radica en el aprovechamiento de la energía del sistema por los componentes comerciales que desean producirse.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2003) el crecimiento de las plantas se retarda cuando la densidad de peces de siembra es alta y la calidad del agua es pobre, por ello es importante cumplir con las exigencias requeridas de oxígeno para un óptimo crecimiento.

Rafiee and Saad (2005) señalan que la asimilación de nutrientes y la generación de aguas residuales de los peces son influidas por 6 factores importantes: la estrategia de alimentación y la densidad de los peces, la biomasa total, la tasa de alimentación, la calidad de agua y el manejo del agua.

Diver (2006) resalta que los desechos de los peces proveen una fuente de alimentos para las bacterias nitrificantes, y estas convierten los desechos tóxicos



en nutrientes útiles para las plantas, asimismo las algas asociadas con las bacterias nitrificantes constituyen un filtro importante para la eliminación de los desechos tóxicos que son perjudiciales en el cultivo de peces como el amoníaco  $\text{NH}_3$ .

En la agricultura, los fertilizantes representan alrededor del 50% de los costos de producción agrícola. Los precios globales de los fertilizantes con base en nitrógeno se elevaron en 2008 a más de 450 \$USD/ton, cerca del doble que los costos del año anterior. Más de la mitad del nitrógeno y fósforo son liberados de los sistemas de producción a los ecosistemas adyacentes con efectos en la contaminación del manto freático, eutrofización de ecosistemas acuáticos y generación de gases de invernadero (FAO, 2008).

Entre las especies de peces más utilizada en la acuaponía, está la tilapia (*Oreochromis spp.*) debido a que tiene un ciclo corto desde su nacimiento hasta su aprovechamiento (6 a 9 meses), tolera fluctuaciones drásticas en la calidad del agua como: pH, temperatura, sólidos disueltos y es resistente a niveles bajos de oxígeno (Iturbide, 2008) (Falcón, 2010). Además, es una especie que se adapta a altas densidades de cultivo permitiendo que los espacios sean usados eficientemente, obteniendo un mayor volumen de producción y disminuyendo costos (Saavedra, 2006).

A través de los años, se han logrado varios estudios acerca de la importancia, productividad y el impacto positivo que genera la acuaponía como una tecnología que logra el ahorro de agua y reutilización del mismo, así como el aprovechamiento de los nutrientes excretados por los peces con previo tratamiento, para ser absorbidos por las plantas cultivadas en los sistemas acuapónicos.

Por otro lado, la mayoría de experimentos acuapónicos han sido desarrollados en México como el realizado por García et al. (2005) que evaluaron un sistema experimental acuapónico utilizando tilapia (*O. mossambicus*) y pepino (*Cucumis sativus*) cultivado durante 75 días. Las plantas fueron regadas con agua de desecho de las tilapias, en un sistema de recirculación de agua, registrándose semanalmente las concentraciones de amonio no ionizada, nitritos y nitratos. Al final del cultivo, los peces crecieron 25 g en promedio y se produjeron casi 5 kg de pepino.

En Perú son pocas las experiencias acuapónicas reportadas, en Trujillo Moreno y Zafra (2014), determinaron el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” con efluentes del cultivo de *Oreochromis sp.* “tilapia roja”. La investigación se realizó en un sistema acuapónico de cinco tubos de PVC, usando la técnica de solución nutritiva recirculante (NFT). Asimismo, evaluaron dos tratamientos basándose en la densidad poblacional, T<sub>1</sub>: con 50 individuos y T<sub>2</sub>: con 25 individuos de tilapia roja. Según concluyen el T<sub>1</sub> fue el que obtuvo el mejor resultado en cuanto a crecimiento tanto en hoja como en raíz, así como el mayor crecimiento en peso fresco total y peso fresco económico con valores promedio de 118,20 g/planta y 94,40 g/planta respectivamente, y una rentabilidad de 2,261 kg/m<sup>2</sup>.

No obstante, uno de los principales problemas que enfrenta la acuaponía a nivel nacional y local se debe a los escasos estudios que asocien directamente la densidad poblacional de los peces sobre el crecimiento de las lechugas y de los peces mismos.

Sobre esta base, se ha ejecutado el presente trabajo de investigación titulado Producción de *Oreochromis niloticus* var. Chitralada “tilapia gris” y *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces; cuyos objetivos fueron: Determinar y comparar la producción de *O. niloticus* var. Chitralada “tilapia gris” y de *L. sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, y Seleccionar el tratamiento que brinde el mejor crecimiento. Planteándose el siguiente problema: ¿Cómo afecta la densidad de los peces a las producciones de *O. niloticus* var. Chitralada “tilapia gris” y *L. sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico? y formulándose la siguiente hipótesis: Si la densidad de los peces favorece el crecimiento de las plantas en un sistema acuapónico y este factor favorece el crecimiento de los peces en el sistema intensivo, entonces el crecimiento y la producción de lechuga y tilapia será mayor en el sistema acuapónico con mayor densidad de peces, la misma que fue contrastada por el Diseño Experimental de Estímulo Creciente.

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Ubicación**

La fase experimental de la presente investigación se realizó desde octubre 2016 hasta abril 2017 en un laboratorio particular ubicado en el distrito de Lambayeque, departamento de Lambayeque (Fig. 1).

### **2.2 Infraestructura**

Para el funcionamiento de los sistemas acuapónicos se utilizaron diferentes componentes:

2.2.1 Infraestructura acuícola: Se utilizaron 3 tanques de fibra de vidrio de 500 L de capacidad (1 por tratamiento), los cuales fueron abastecidos con 300 L de agua (Fig. 2). Cada tanque estuvo provisto de un termostato Stainless Steel ajustable de 400W fijado en el tanque y a una temperatura de 28 - 30°C. En su interior, también se ubicó una bomba sumergible Air-Pump 600 L/H para elevar el agua de cultivo hacia la parte superior del sistema de tratamiento del agua, mediante una manguera plástica corrugada de  $\frac{3}{4}$ " (Fig. 2).

2.2.2 Infraestructura agrícola: aplicando el SRF (sistema de raíces flotantes), se usaron 3 camas hidropónicas (CH) de madera (1 por tratamiento) de 80 cm de largo \* 70 cm de ancho (0,56 m<sup>2</sup> de área), con una profundidad de 10 cm, forradas con plástico y ubicadas a una altura de 1,23 m del piso (Fig. 2); con una perforación en la parte inferior, donde se conectó una manguera de  $\frac{3}{4}$ ", que condujo, por gravedad, el agua de las camas hacia los tanques de cultivo de peces (Fig. 2). Sobre las camas se colocaron planchas de tecnopor de 0,77 m de largo \* 0,67 m de ancho \* 1,5 cm de espesor, con 20 perforaciones circulares que distaron

14 cm una de otra, donde se ubicaron las plántulas sostenidas por esponjas (Fig. 2), y para regular la entrada de la radiación solar a las plantas se colocó una malla Raschel de 80% de sombra, color verde como techo del ambiente utilizado en el experimento.

2.2.3 Sistema de tratamiento del agua: se utilizaron 3 tanques plásticos (1 por tratamiento), en cuyo interior se ubicaron los siguientes elementos: en la parte superior una canastilla con una esponja de dunlopillo (acción mecánica-retención de sólidos gruesos), dos discos de dunlopillo en la parte media (acción mecánica-retención de sólidos finos) y en la parte inferior, ruleros rellenos de napa y canutillos de cerámica (acción biológica). La parte inferior del tanque fue perforada para conectar una manguera de  $\frac{3}{4}$ " para conducir el agua tratada por gravedad hacia las camas hidropónicas (Fig. 2).

2.2.4 Sistema de aireación: constituido por un Compresor de aire HAILEA ACO-208 con una potencia de 35 L/min, distribuida para los 3 tratamientos, cada tratamiento con 2 líneas de aireación, a través de mangueras plásticas de 6 mm  $\theta$ , con sus respectivos difusores de piedra en el extremo.

### 2.3 Diseño Experimental

Para contrastar la hipótesis se utilizó el diseño experimental de estímulo creciente, con tres tratamientos sin repetición: 167 tilapias/m<sup>3</sup> (tratamiento 1), 250 tilapias/m<sup>3</sup> (tratamiento 2) y 333 tilapias/m<sup>3</sup> (tratamiento 3); siendo las poblaciones de 50, 75, y 100 peces, respectivamente. Respecto a la lechuga, la población total fue de 20 plántulas en cada cama hidropónica. La Tabla 1, muestra el diseño experimental, así como las longitudes y pesos medios de siembra de peces y plantas.

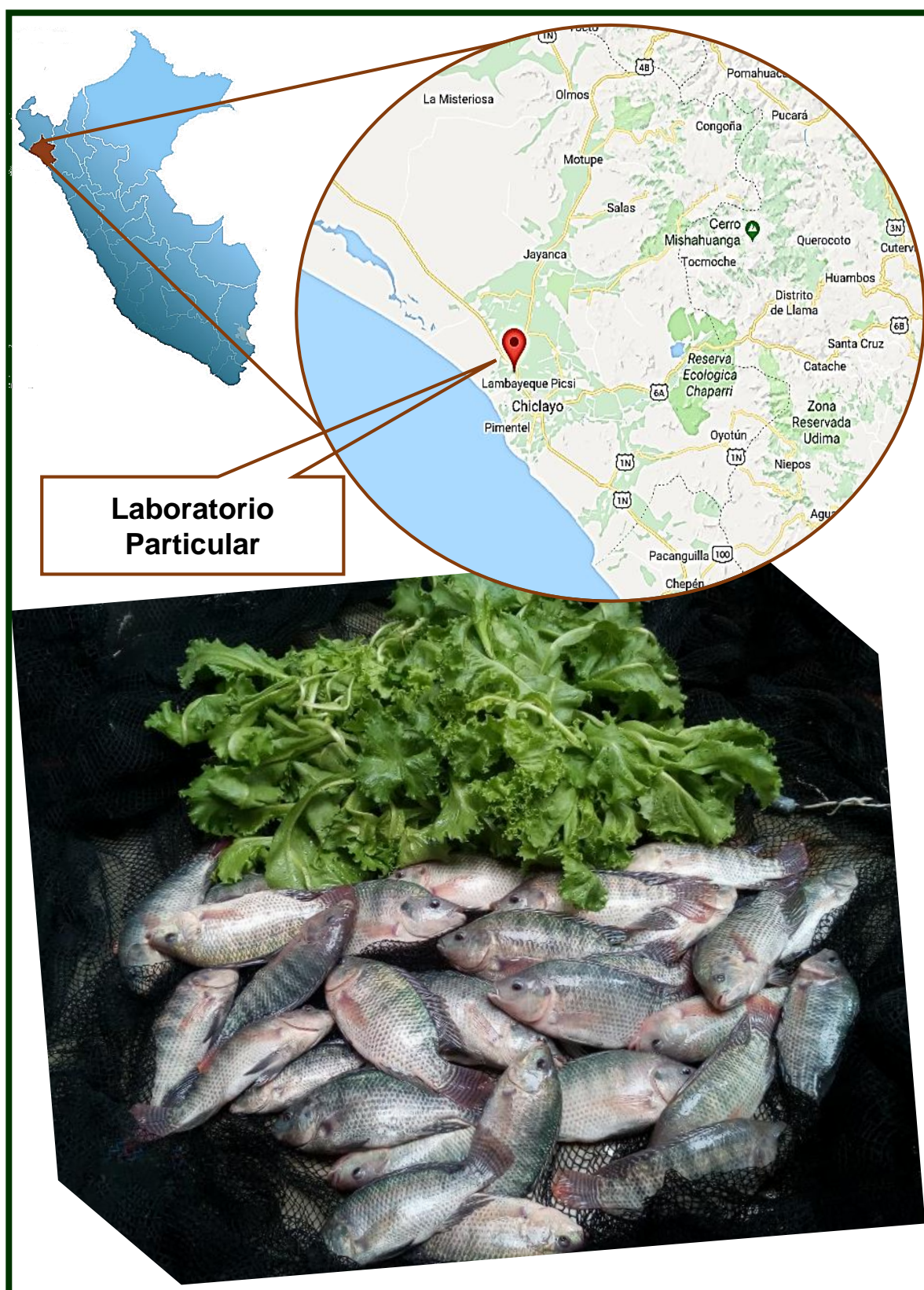


Figura 1. Ubicación del Laboratorio particular donde se ejecutó la Investigación, Distrito de Lambayeque, Departamento de Lambayeque. Fuente: Mapa del Perú y localización modificado de [www.enperu.org](http://www.enperu.org) y Google Maps.



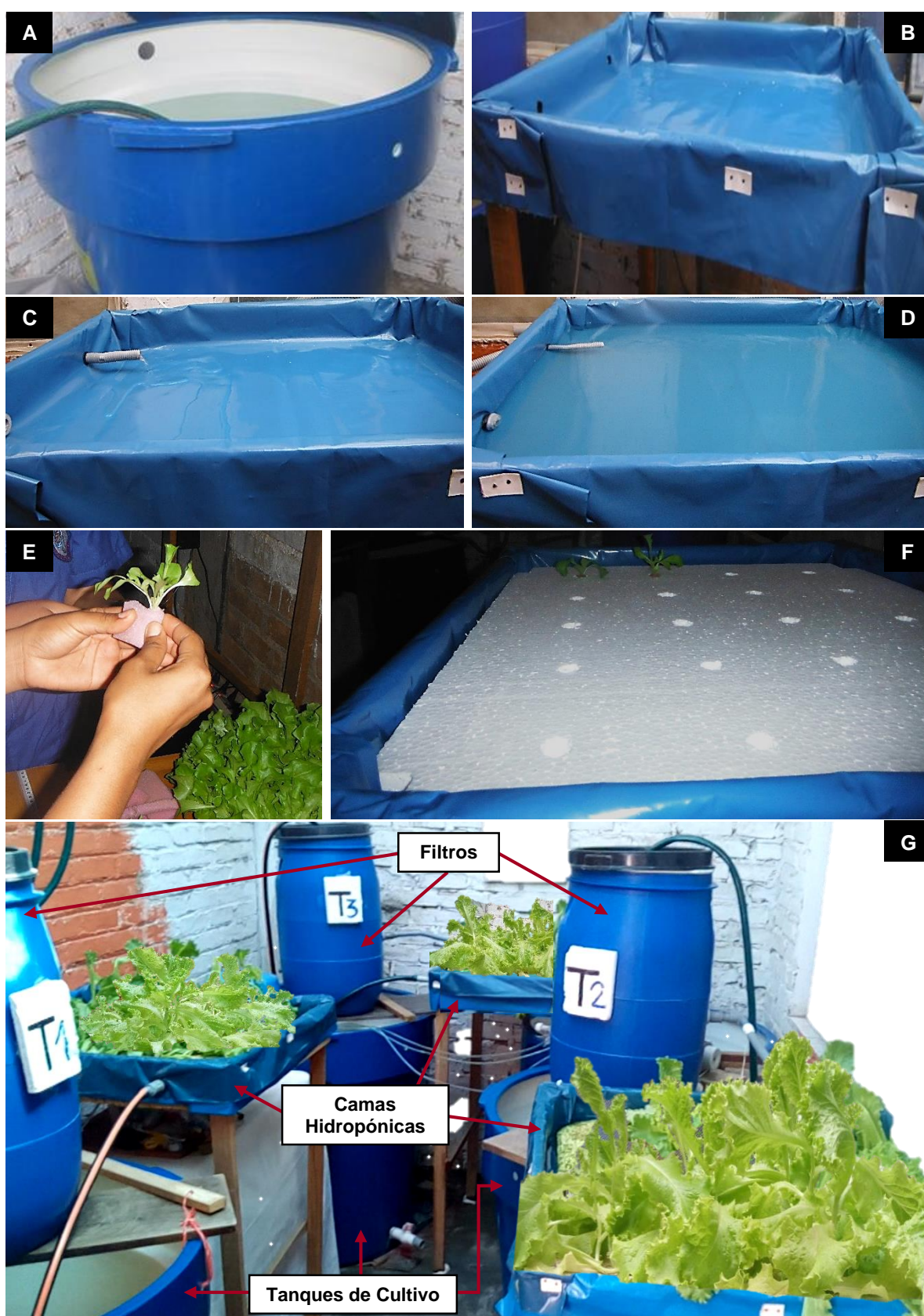


Figura 2. Infraestructura: tanque de cultivo (A), cama hidropónica de raíz flotante (B) abasteciéndose por gravedad con el agua de los peces previamente filtrada (C-D), almácigos sostenidos en esponjas (E) para ser sembrados (F), y sistema acuapónico.

Tabla 1. Diseño experimental, denominación de tratamientos, densidad (peces/m<sup>3</sup>), población total, longitud total y peso medio de siembra de *O. niloticus* var. Chitralada y *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tratamiento	<i>O. niloticus</i> var. Chitralada				<i>L. sativa</i>			
	Lt (mm)	Pt (g)	Densidad (peces/m <sup>3</sup> )	Población Total	LR (mm)	LH (mm)	Peso (g)	Población Total
T <sub>1</sub>	36	0,62	167	50	17	30	0,7	20
T <sub>2</sub>	36	0,62	250	75	17	30	0,7	20
T <sub>3</sub>	36	0,62	333	100	17	30	0,7	20

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3.

Lt: longitud total media; Pt: peso total medio.

LR: longitud de Raíz; LH: longitud de Hoja.



## **2.4 Material Biológico**

### **2.4.1 Peces**

Se utilizaron alevinos de *O. niloticus* var. Chitralada, provenientes del Laboratorio Fish & Aquaculture E.I.R.L, ubicado en la ciudad de Moyobamba, región San Martín, los que fueron trasladados a Lambayeque; donde se colocaron en un tanque de fibra de vidrio con capacidad de 250 litros, provisto de aireación constante para una aclimación por 15 días.

### **2.4.2 Plantas**

Las plántulas de lechuga (*L. sativa*), fueron adquiridas en el invernadero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, provincia de Lambayeque, departamento de Lambayeque.

## **2.5 Siembra de alevinos y plántulas en el sistema acuapónico**

La siembra fue escalonada, primero se sembraron los alevinos de *O. niloticus* en los tanques de fibra de vidrio de 500 L de capacidad, de acuerdo a lo establecido en el diseño experimental, previo control biométrico para el registro de la longitud y peso promedio de siembra. Luego de 10 días, se realizó la siembra de los almácigos de lechuga en las camas hidropónicas y así se dio inicio al sistema de recirculación acuapónico.

## **2.6 Alimentación de los peces**

Los peces fueron alimentados con balanceado de la marca GISIS, al 45% de proteína durante el primer mes, a razón de 20% de la biomasa los 15 primeros días y al 8% los 15 días restantes; 40% de proteína, el segundo y tercer mes, a razón del 6% y 4% de la biomasa, respectivamente; 32% de proteína, el cuarto y quinto

mes a razón del 3% y 2% de la biomasa, respectivamente; y 28% de proteína, el sexto mes a razón del 2% de la biomasa. La frecuencia de alimentación en el primer mes, fue de 6 veces al día (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00), posteriormente, se redujo a tres veces al día: 8:00, 13:00 y 18:00, hasta la etapa final.

## **2.7 Control de crecimiento**

El control del crecimiento en longitud y peso de los peces se realizó mensualmente, para lo cual, utilizando un calcal de mano, se obtuvo una muestra al azar de 10 peces por cada tratamiento, a los cuales se les registró la longitud total con un ictiómetro graduado en mm y peso total con balanza digital de 0,1 g de sensibilidad marca Kambor (Fig. 3).

Para el registro del crecimiento de las plantas se tomó una muestra al azar de 5 plantas de lechuga de cada cama hidropónica, registrándose la longitud de raíz y hoja con una cinta métrica graduada en mm, y el peso con una balanza digital de 0,1 g de sensibilidad, al inicio (siembra) y al final de cada campaña (cosecha) (Fig. 4).

## **2.8 Control de los parámetros físico – químicos del agua**

El registro de la temperatura ambiental y del agua se realizó 3 veces al día: 8:00, 13:00 y 18:00 horas, con un termohigrómetro digital BOECO de 0,1°C de sensibilidad. Los demás parámetros se registraron mensualmente: el pH con ayuda de un Peachímetro Hanna Automático, los nitritos y amonio con kits SERA por el método colorimétrico (Fig. 5); finalmente, el oxígeno disuelto se realizó a través del método Winkler y el dióxido de carbono por el método titulométrico.



Figura 3. Control de crecimiento de tilapia en longitud mediante un ictiómetro (A) y en peso mediante una balanza digital (B).



Figura 4. Control de crecimiento de raíz (A) y hoja (B) de la lechuga.



Figura 5. Kits *SERA* y termohigrómetro digital (A) utilizados durante los controles mensuales de parámetros físico-químicos (B).

## 2.9 Evaluación económica

Se determinó la evaluación económica del cultivo acuapónico a través de los siguientes parámetros:

- Merito Económico (ME) = Costo de Alimento/Ganancia en Peso de los organismos cultivados.
- Retorno por Sol Invertido (RSI) = Ingreso Neto/Costo del Alimento
- Ingreso Neto [IN] = Ingreso Bruto [IB] – (Costo de Alimento + Costo de Alevinos y almácigos).

## 2.10 Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza para determinar el efecto de las variables densidad, tiempo e interacción de ambos factores sobre el crecimiento, aplicando un modelo factorial de dos factores fijos (Ostle, 1994). El modelo empleado fue:

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + (AB)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

- $Y_{ijk}$  : Una medición cualquiera.  
 $U$  : Longitud o peso medio verdadero.  
 $A_i$  : Efecto del factor densidad poblacional sobre el crecimiento.  
 $B_j$  : Efecto del factor tiempo sobre el crecimiento.  
 $(AB)_{ij}$  : Efecto de la interacción de la densidad y el tiempo sobre el crecimiento.  
 $E_{ijk}$  : Error experimental.

Para ello se formularon las siguientes hipótesis:

$H_0$ : El factor densidad de siembra, el tiempo y su interacción no afecta el crecimiento de los organismos en cultivo.

$H_1$ : El factor densidad de siembra, el tiempo y su interacción si afecta el crecimiento de los organismos en cultivo.

Tomándose las decisiones en base a:

Aceptar  $H_0$ , si  $P$  es mayor que o igual al nivel  $\alpha$  de 0,05

Aceptar  $H_1$ , si  $P$  es menor que el nivel  $\alpha$  de 0,05

Se aplicó la prueba de Tukey (Steel y Torrie, 1988), para establecer cuál de los tratamientos presentó un mejor crecimiento.

Los parámetros de la ecuación peso-longitud para los peces, fueron estimados para cada tratamiento y sometidos al análisis de covarianza (Zar, 1996). A través de la prueba de  $t$  para el exponente  $b$  (Snedecor y Cochran, 1997), se determinó si difieren estadísticamente de 3, caracterizando así el tipo de crecimiento.

Los datos fueron procesados estadísticamente con una Laptop Lenovo con procesador Intel Core i5 – Sistema Operativo Windows 10, utilizando los programas Excel y Minitab 17 con un valor de significancia de 0,05%.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Crecimiento de *O. niloticus* var. Chitralada

Al término del proceso de cultivo de seis meses de duración, el crecimiento se diferenció en función inversa a la densidad de siembra (Tabla 2), siendo mayor en la densidad más baja de 167 tilapias/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>): 222,9 mm y 205,58 g. La evaluación gráfica (Fig. 6) evidenció que este mayor crecimiento del tratamiento antes indicado, se manifestó claramente a partir del cuarto mes de cultivo. El comportamiento del crecimiento en longitud y peso de los peces en función a la densidad de siembra y tiempo, se evidenció a través del gráfico de superficie según el modelo lineal con interacción (Fig. 7), donde el crecimiento aumenta con el avance del tiempo, y disminuye al aumentar la densidad de siembra.

Las diferencias observadas en el crecimiento, solo fueron estadísticamente significativas a través del tiempo, mas no en función a la densidad de siembra e interacción de ambos factores (Tabla 3).

La evaluación del crecimiento en longitud y peso mediante la prueba de Tukey (Tabla 4 y Tabla 5) evidenció, en general, que fue significativo en el quinto y sexto mes de cultivo en los tres tratamientos.

Las tasas de incremento en longitud y peso (Fig. 8) manifestaron un patrón similar de comportamiento en los tres tratamientos, observándose que mientras los incrementos en longitud mostraron una tendencia a disminuir su valor hacia el final del cultivo, los incrementos en peso aumentaron a medida que avanzó el proceso de cultivo. Las mejores tasas de incremento correspondieron a la densidad de 167 tilapias/m<sup>3</sup>.

Tabla 2. Longitudes y pesos medios de siembra y mensuales de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tiempo	Tratamiento 1			Tratamiento 2			Tratamiento 3		
	n	Lt (mm)	Pt (g)	n	Lt (mm)	Pt (g)	n	Lt (mm)	Pt (g)
Siembra	50	36,00	0,62	75	36,00	0,62	100	36,00	0,62
Mes 1	10	93,10	15,77	10	96,90	20,66	10	95,70	18,78
Mes 2	10	114,10	31,93	10	111,80	30,93	10	109,50	28,05
Mes 3	10	136,20	58,38	10	136,40	60,96	10	127,10	41,11
Mes 4	10	157,30	90,88	10	154,40	83,09	10	151,70	72,23
Mes 5	10	184,50	130,15	10	182,80	126,72	10	170,80	102,30
Mes 6	10	222,90	205,58	10	207,00	178,42	10	203,74	162,95

n: número de ejemplares.; Lt: longitud total media; Pt: peso total medio



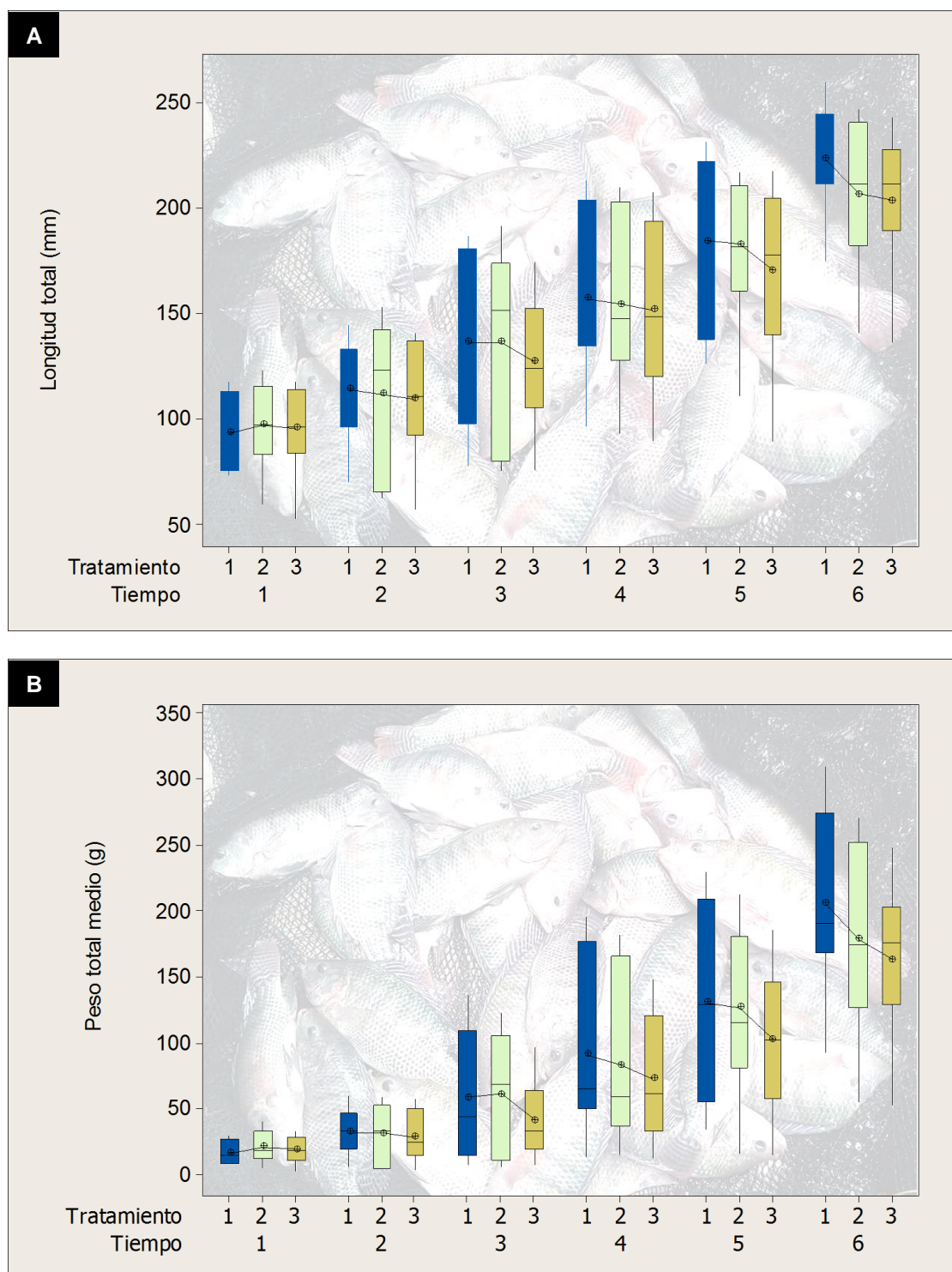


Figura 6. Variaciones de las longitudes (A) y pesos (B) medios mensuales de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.



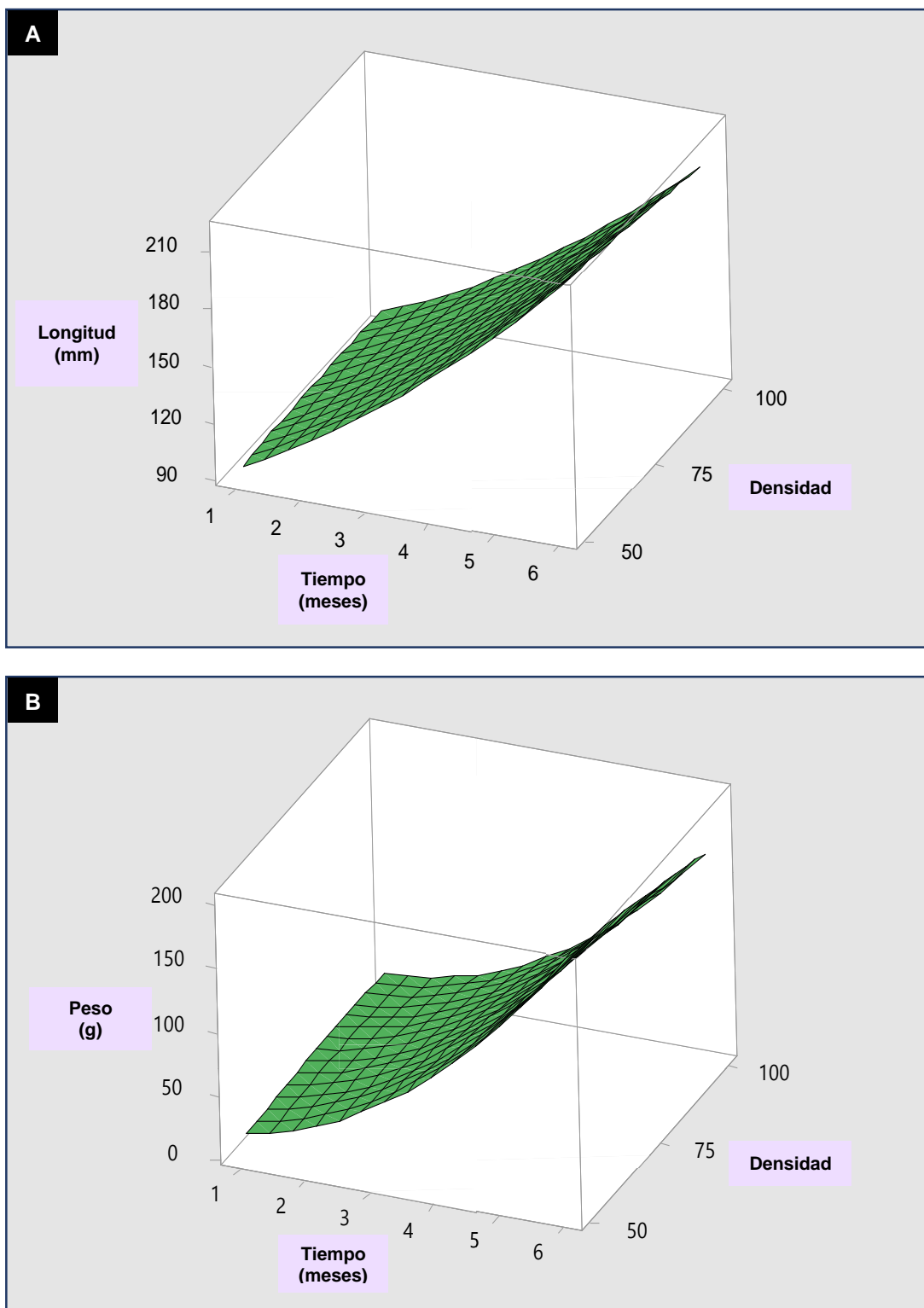


Figura 7. Gráfica de superficie según el Modelo Lineal con Interacción, de longitud (A) y peso (B) vs densidad, tiempo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, octubre 2016 - abril 2017.

Tabla 3. Análisis de varianza para determinar el efecto de la densidad, el tiempo y su interacción, sobre el crecimiento en longitud y peso de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Fuente de variación	Longitud		Peso	
	F	P	F	P
Tratamientos (Trat.)	0,90	0,409	2,05	0,132
Tiempo (T)	47,62	0,000*	46,30	0,000*
Interacción (Trat. X T)	0,18	0,998	0,33	0,972

F: valor de prueba de F calculado; P: valor P al nivel 0,05

Tabla 4. Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas mes a mes en cada tratamiento, entre las longitudes medias de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tiempo	Longitud Media		Residuo	DMS
	Tratamiento 1			
M1 - M2	93,10	114,10	21,00	25,26
M2 - M3	114,10	136,20	22,10*	20,74
M3 - M4	136,20	157,30	21,10	24,19
M4 - M5	157,30	184,50	27,20*	22,75
M5 - M6	184,50	222,90	38,40*	22,75
Tratamiento 2				
M1 - M2	96,90	111,80	14,90	22,75
M2 - M3	111,80	136,40	24,60*	24,19
M3 - M4	136,40	154,40	18,00	20,74
M4 - M5	154,40	182,80	28,40*	22,75
M5 - M6	182,80	207,00	24,20*	22,75
Tratamiento 3				
M1 - M2	95,70	109,50	13,80	17,36
M2 - M3	109,50	127,10	17,60	22,75
M3 - M4	127,10	151,70	24,60*	22,75
M4 - M5	151,70	170,80	19,10	22,75
M5 - M6	170,80	203,74	32,94*	22,75

M: mes; DMS: diferencia mínima significativa de Tukey.

\* : valor significativo al nivel 0,05.

Tabla 5. Prueba de Tukey para determinar diferencias significativas mes a mes en cada tratamiento, entre los pesos medios de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tiempo	Peso Medio		Residuo	DMS
	Tratamiento 1			
M1 - M2	15,77	31,93	16,16	36,52
M2 - M3	31,93	58,38	26,45	30,00
M3 - M4	58,38	90,88	32,50	34,98
M4 - M5	90,88	130,15	39,27*	32,90
M5 - M6	130,15	205,58	75,43*	32,90
Tratamiento 2				
M1 - M2	20,66	30,93	10,27	30,00
M2 - M3	30,93	60,96	30,03	34,98
M3 - M4	60,96	83,09	22,13	30,00
M4 - M5	83,09	126,72	43,63*	32,90
M5 - M6	126,72	178,42	51,70*	32,90
Tratamiento 3				
M1 - M2	18,78	28,05	09,27	30,00
M2 - M3	28,05	41,11	13,06	32,90
M3 - M4	41,11	72,23	31,12	32,90
M4 - M5	72,23	102,30	30,07	32,90
M5 - M6	102,30	162,95	60,65*	32,90

M: mes; DMS: diferencia mínima significativa de Tukey.

\* : valor significativo al nivel 0,05.

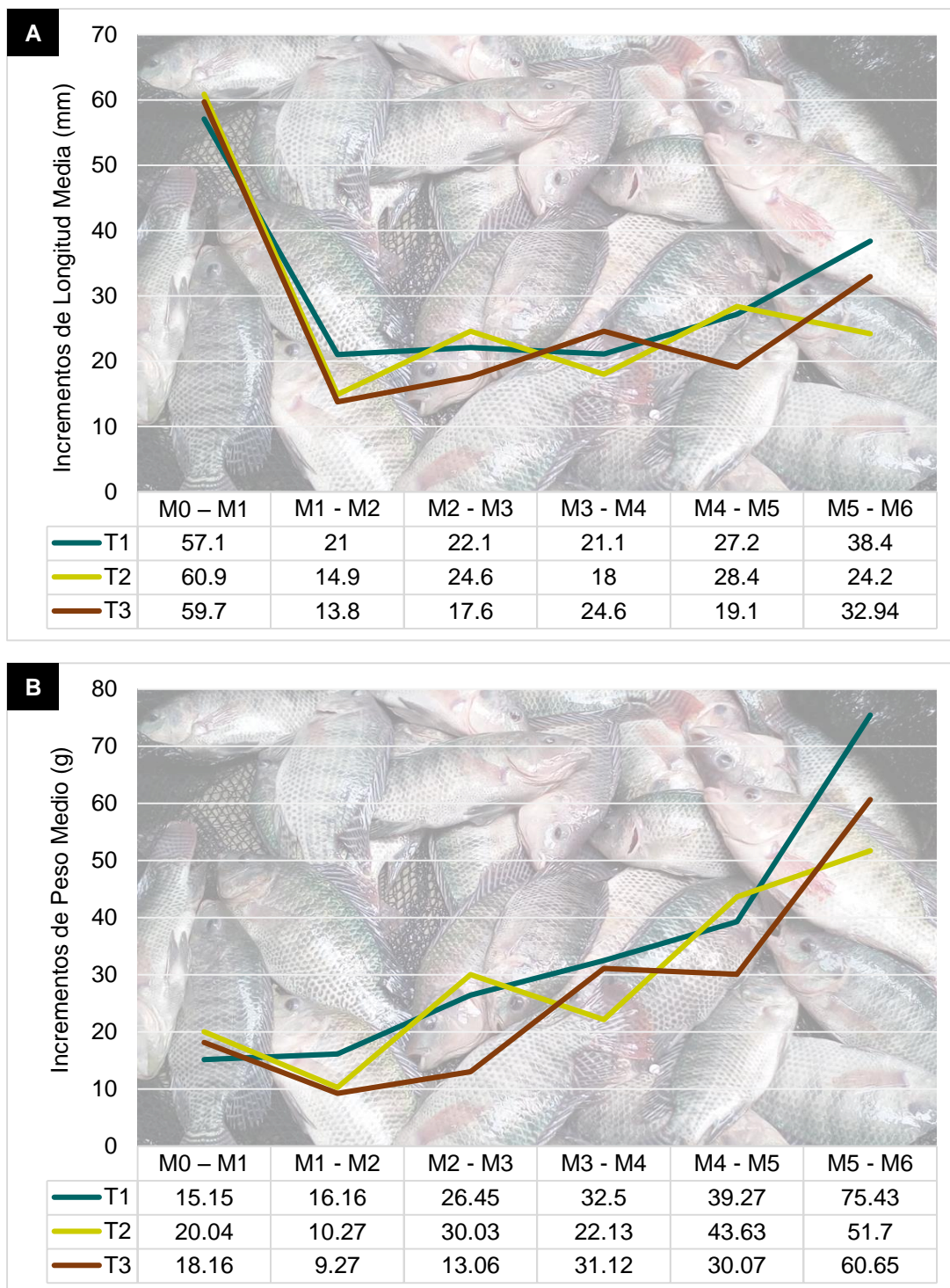


Figura 8. Incrementos mensuales de longitudes (A) y pesos medios (B) de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

### 3.2 Crecimiento de *L. sativa*

El crecimiento de la lechuga estuvo relacionado directamente con la densidad de siembra de los peces en ambas campañas (Tabla 6), siendo mayor en la densidad de 333 peces/m<sup>3</sup> (tratamiento 3), obteniéndose en promedio: 203,50 mm (LR), 306,00 mm (LH) y 198,15 g (Pt). La representación gráfica (Fig. 9), evidenció claramente este mayor crecimiento de la lechuga en función a la densidad de siembra de los peces; observándose, además, que el crecimiento de las plantas en la campaña 2 fue superior a la campaña 1.

La prueba estadística de análisis de varianza (Tabla 7), estableció que las diferencias observadas en longitud de raíz, longitud de hoja y peso, fueron significativas entre tratamientos y campañas, señalando que el crecimiento de las lechugas fue afectado por los factores antes mencionados, mas no por la interacción de ambos, en el caso de las longitudes, no ocurriendo así con el peso, que sí presentó significancia estadística por interacción.

Los intervalos de confianza a través de la prueba de Tukey (Fig. 10) establecieron que el crecimiento de las lechugas en el tratamiento 3, superó al tratamiento 1 en longitud de raíz, longitud de hoja y peso, así como al tratamiento 2 en longitud de raíz; también, que el tratamiento 2 superó al tratamiento 1 en longitud de raíz y longitud de hoja. El análisis de las tasas de incremento en longitud de raíz, longitud de hoja y peso entre las campañas (Tabla 8) evidenciaron que, mientras en las longitudes su tendencia es a disminuir su valor con el aumento de la densidad de siembra de los peces; en peso, ocurrió lo contrario, incrementando su valor en función al aumento de la densidad de peces.

Tabla 6. Longitudes y Pesos medios de siembra y por campaña de *L. sativa*, cultivada, cultivada con *O. niloticus* var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

	Tiempo	Tratamiento 1				Tratamiento 2				Tratamiento 3			
		N	LR (mm)	LH (mm)	Pt (g)	n	LR (mm)	LH (mm)	Pt (g)	n	LR (mm)	LH (mm)	Pt (g)
C <sub>1</sub>	Siembra	20	17,00	30,00	0,70	20	17,00	30,00	0,70	20	17,00	30,00	0,70
	Cosecha	5	168,80	264,20	149,00	5	185,00	282,00	155,40	5	199,80	297,20	167,60
C <sub>2</sub>	Siembra	20	18,00	30,00	0,90	20	18,00	30,00	0,90	20	18,00	30,00	0,90
	Cosecha	5	187,00	289,20	178,90	5	201,20	298,00	199,70	5	208,20	314,80	228,70
P <sub>(C1, C2)</sub>	Siembra	20	17,50	30,00	0,80	20	17,50	30,00	0,80	20	17,50	30,00	0,80
	Cosecha	5	177,90	276,70	163,95	5	193,10	290,00	177,55	5	203,50	306,00	198,15

n: número de ejemplares, LR: longitud de raíz media (mm), LH: longitud de hoja media (mm), Pt: peso total medio (g).

C<sub>1</sub>: campaña 1, C<sub>2</sub>: campaña 2, P<sub>(C1, C2)</sub>: promedios de siembra y cosecha de las campaña 1 y 2.

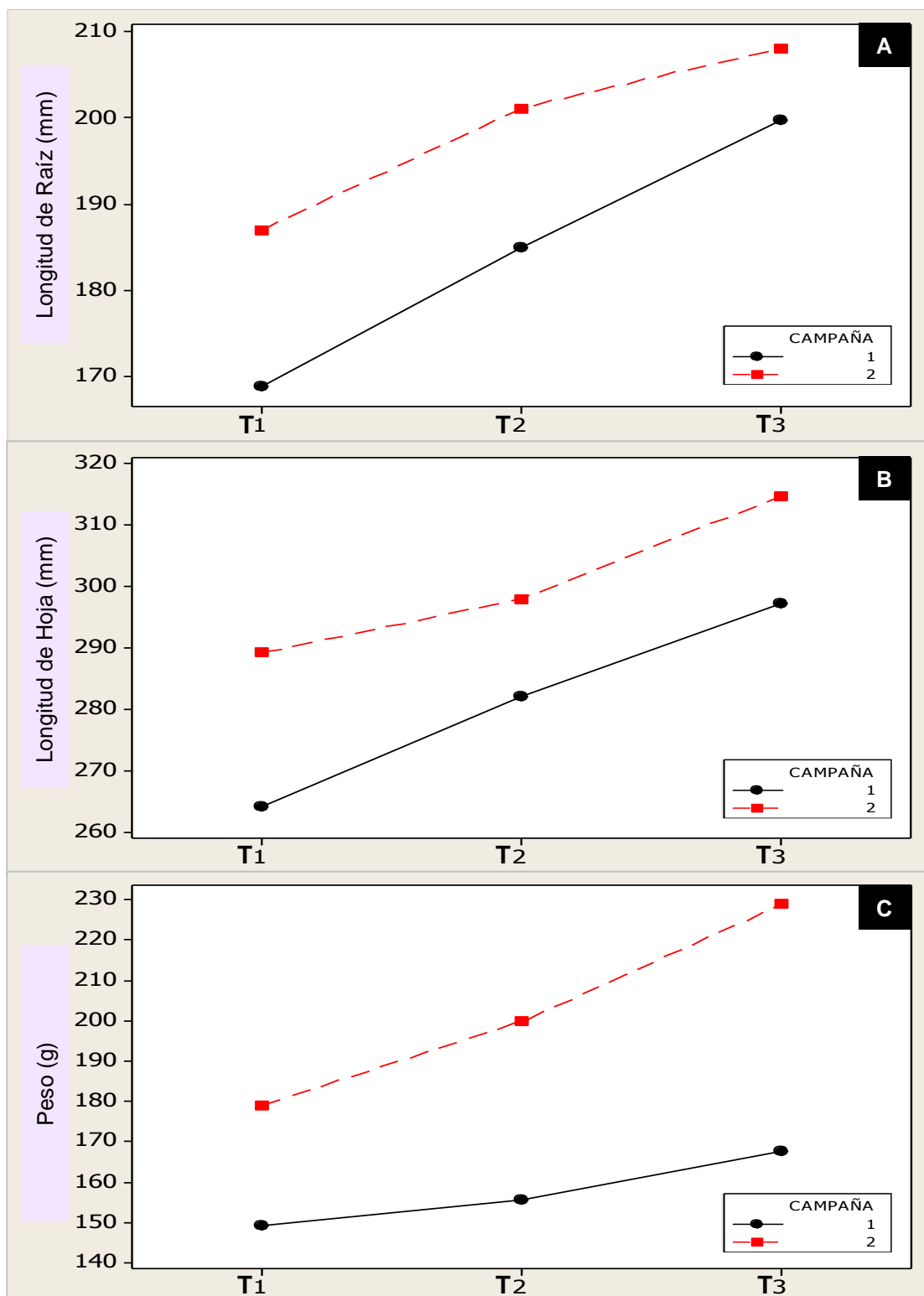


Figura 9. Variaciones de las longitudes raíz (A), hoja (B) y pesos (C) medios por campaña y tratamiento de *L. sativa*, cultivada con *O. niloticus* var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.



Tabla 7. Análisis de varianza para determinar el efecto de la densidad, el tiempo y su interacción, sobre el crecimiento en longitudes de raíz, hoja, y peso de *L. sativa*, cultivada con *O. niloticus* var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Fuente de variación	Longitud de raíz		Longitud de hoja		Peso	
	F	P	F	P	F	P
Tratamientos (T)	35,83	0,000*	92,04	0,000*	44,17	0,000*
Campaña (C)	31,82	0,000*	122,38	0,000*	227,53	0,000*
Interacción (T x C)	1,40	0,267	2,46	0,106	9,14	0,001*

F: valor de prueba de F calculado; P: probabilidad 0,05.

\*: valor significativo al nivel 0,05.

Tabla 8. Incrementos entre campañas de las longitudes de raíz, hoja y pesos medios de *L. sativa*, cultivada con *O. niloticus* var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de pecces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tiempo	T <sub>1</sub>			T <sub>2</sub>			T <sub>3</sub>		
	LR (mm)	LH (mm)	Pt (g)	LR (mm)	LH (mm)	Pt (g)	LR (mm)	LH (mm)	Pt (g)
C1 – C2	18,20	25,00	29,86	16,20	16,00	44,32	8,40	17,60	61,16

LR: longitud de raíz media, LH: longitud de hoja media, Pt: peso total medio, C1 – C2: incrementos de la campaña 2 a la campaña 1, T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3

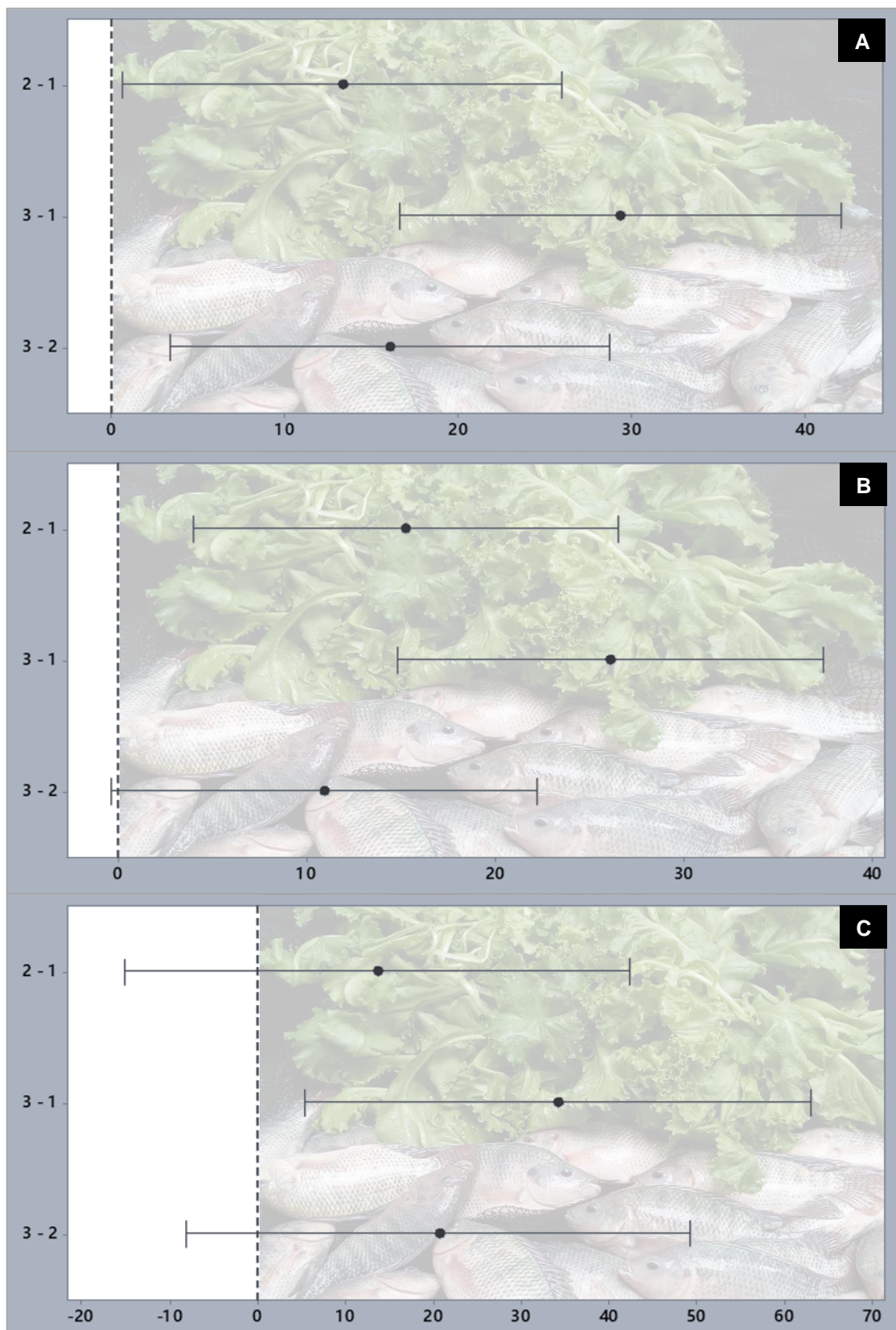


Figura 10. Intervalos de confianza para las diferencias entre las medias de la longitud de raíz (A), hoja (B) y pesos (C) medios entre tratamientos de *L. sativa*, cultivada con *O. niloticus* var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

### **3.3 Producción**

#### **3.3.1 Peces**

Las producciones total, bruta y neta se incrementaron siguiendo la tendencia de la densidad de los peces, a mayor densidad mayor producción, obteniendo los valores más altos en la densidad de 333 tilapias/m<sup>3</sup> (tratamiento 3): 16,30 kg, 54,32 kg/m<sup>3</sup> y 54,11 kg/m<sup>3</sup> respectivamente (Tabla 9, Fig. 11).

#### **3.3.2 Lechuga**

Las producciones total, bruta y neta de las lechugas también se incrementaron en función de la densidad de los peces en ambas campañas, así como en las producciones conjuntas, siendo mayores en el tratamiento 3, donde promediando ambas campañas se obtuvo: 3,963 kg, 7,076 kg/m<sup>2</sup> y 7,048 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente (Tabla 10, Fig. 11).

### **3.4 Alimentación, Factor de Conversión y Eficiencia Alimenticia**

La cantidad de alimento suministrada a los peces, aumento con el transcurso del periodo de cultivo (Tabla 11).

La cantidad de alimento, mensual, diario y por planta, suministrado al sistema acuapónico, se incrementó con el avance del proceso de cultivo y con el aumento de la densidad poblacional de los peces (Tabla 11). Observándose que la cantidad de alimento diario osciló entre 0,7 y 6,5 gramos por planta en el tratamiento T<sub>1</sub>, de 1,2 a 9,5 gramos por planta en el tratamiento T<sub>2</sub> y de 1,5 a 10,2 gramos por planta en el tratamiento T<sub>3</sub>.

El mejor factor de conversión y aprovechamiento alimenticio se obtuvo en el tratamiento 1 (167 tilapias/m<sup>3</sup>): 1,21 y 83% respectivamente (Fig. 12).

Tabla 9. Producción total (kg), bruta (kg/m<sup>3</sup>) y neta (kg/m<sup>3</sup>) de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Producción	Tratamiento		
	T <sub>1</sub> (50)	T <sub>2</sub> (75)	T <sub>3</sub> (100)
Total (kg)	10,28	13,38	16,30
Bruta (kg/m <sup>3</sup> )	34,26	44,61	54,32
Neta (kg/m <sup>3</sup> )	34,16	44,45	54,11

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3

Tabla 10. Producción total (kg), bruta (kg/m<sup>2</sup>) y neta (kg/m<sup>2</sup>) de *L. sativa*, cultivada con *O. niloticus* var. Chitralada en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Producción	Campaña 1			Campaña 2			Promedio (C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub> )		
	Tratamiento			Tratamiento			Tratamiento		
	T <sub>1</sub> (50)	T <sub>2</sub> (75)	T <sub>3</sub> (100)	T <sub>1</sub> (50)	T <sub>2</sub> (75)	T <sub>3</sub> (100)	T <sub>1</sub> (50)	T <sub>2</sub> (75)	T <sub>3</sub> (100)
Total (kg)	2,980	3,108	3,351	3,578	3,994	4,574	3,279	3,551	3,963
Bruta (kg/m <sup>2</sup> )	5,322	5,549	5,984	6,389	7,132	8,169	5,855	6,341	7,076
Neta (kg/m <sup>2</sup> )	5,296	5,523	5,958	6,358	7,101	8,138	5,827	6,312	7,048

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>: campaña 1 y campaña 2

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3

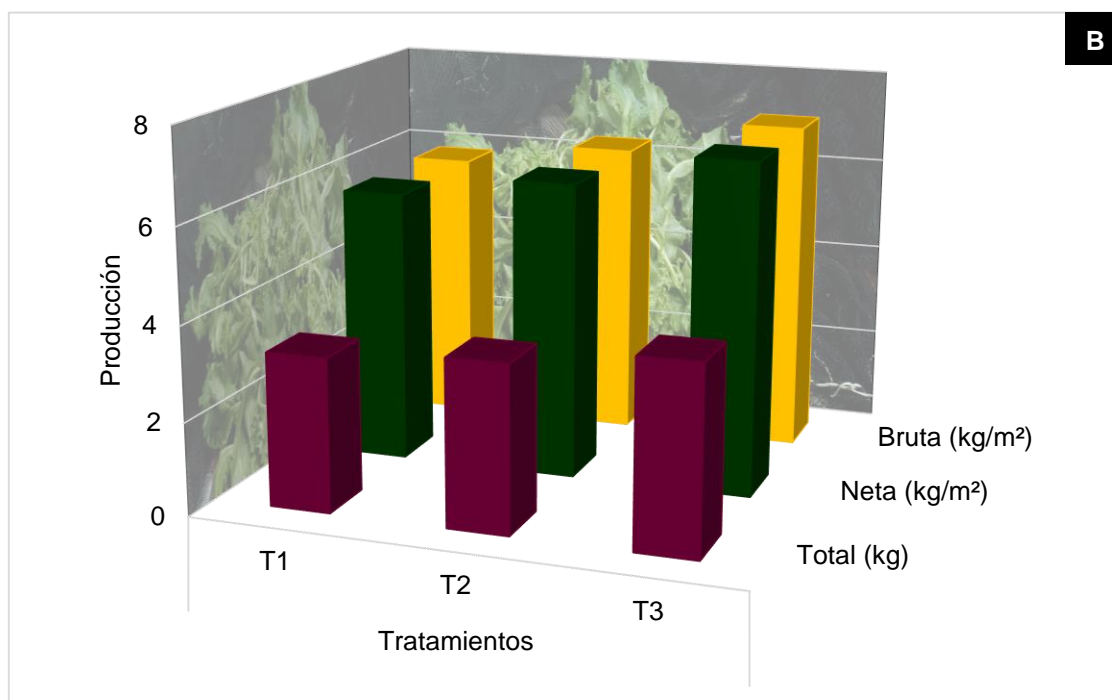
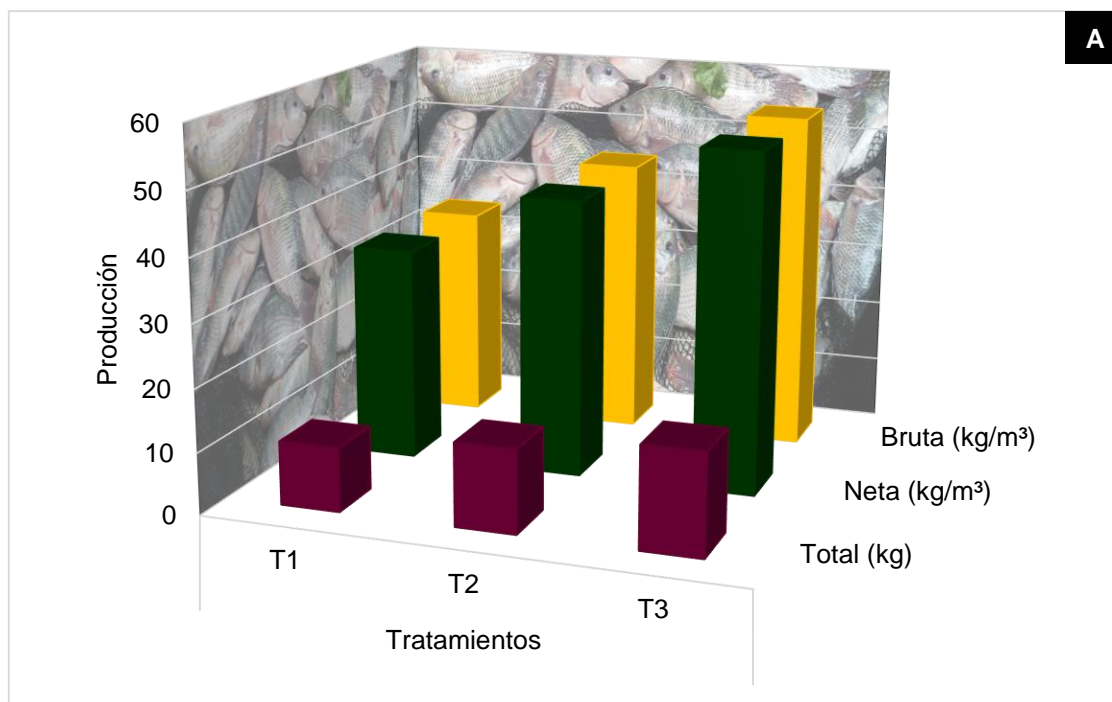


Figura 11. Producciones total, bruta y neta de *O. niloticus* var. Chitralada (A) y *L. sativa* (B), en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tabla 11. Biomasa y Cantidad de alimento total, diario, por planta y tratamiento suministrado a *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tiempo	Tratamiento											
	T <sub>1</sub>				T <sub>2</sub>				T <sub>3</sub>			
	Biomasa (g)	Cantidad de Alimento			Biomasa (g)	Cantidad de Alimento			Biomasa (g)	Cantidad de Alimento		
		g	(g/día)	(g/planta)		(g)	(g/día)	(g/planta)		(g)	(g)	(g/día)
Mes 1	788.5	442.89	14.29	0.7	1549.5	722.16	23.30	1.2	1878.0	904.40	29.17	1.5
Mes 2	1596.5	1193.26	39.78	2.0	2319.8	2097.00	69.90	3.5	2805.0	2491.48	83.05	4.2
Mes 3	2919.0	1694.95	54.68	2.7	4572.0	2246.29	72.46	3.6	4111.0	2863.44	92.37	4.6
Mes 4	4544.0	2240.27	72.27	3.6	6231.8	3429.00	110.61	5.5	7223.0	3309.35	106.75	5.3
Mes 5	6507.5	2925.20	104.47	5.2	9504.0	3972.75	141.88	7.1	10230.0	4514.37	161.23	8.1
Mes 6	10279.0	3904.50	130.15	6.5	13381.5	5702.40	190.08	9.5	16295.0	6138.00	204.60	10.2
Total		12401.07				18169.59				20221.04		

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3

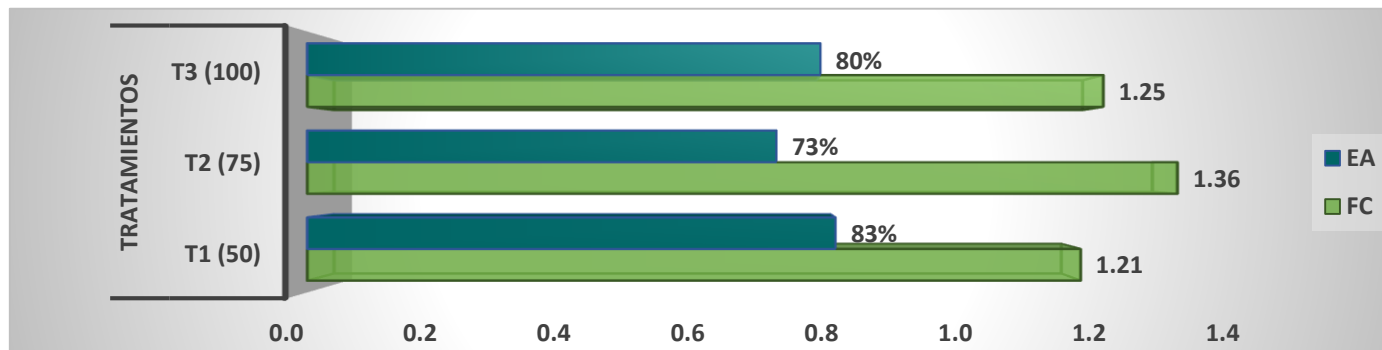


Figura 12. Factor de conversión (FC) y eficiencia alimenticia (EA) por tratamiento de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Considerando la producción total de biomasa de peces y plantas, las conversiones y eficiencias alimenticias fueron de: 0,74 y 135,26 % para el tratamiento 1; 0,89 y 112,30 % para el tratamiento 2 y 0,84 y 119,31 % para el tratamiento 3.

### **3.5 Relación Peso - Longitud**

Los parámetros de la relación peso-longitud se calcularon para cada uno de los tratamientos (Tabla 12), y mediante el análisis de covarianza (Tabla 13), se determinó que no presentaron diferencias significativas entre regresiones ( $F_c$ : 1,25 y  $F_t$ : 2,49), pendientes ( $F_c$ : 2,27 y  $F_t$ : 3,11), y orígenes ( $F_c$ : 0,23 y  $F_t$ : 3,11).

La prueba de “t” para el exponente “b” indicó que su valor no difirió estadísticamente de 3, resultando que los peces presentaron un crecimiento isométrico en los tres tratamientos (Tabla 12).

En cuanto al factor de condición alométrico comparativo, la densidad de 250 tilapias/m<sup>3</sup> ( $T_2$ ) presentó mejor condición fisiológica (Tabla 12).

### **3.6 Evaluación Económica del Experimento**

#### **3.6.1 Mérito Económico**

Se obtuvo el valor de S/. 3,13 (Tabla 13) como el mejor mérito económico correspondiente a la densidad de 167 tilapias/m<sup>3</sup> (tratamiento 1).

#### **3.6.2 Retorno por Sol Invertido**

Se obtuvo el valor de S/. 1,44 (Tabla 14) como el mayor retorno por sol invertido correspondiente a la densidad de 167 tilapias/m<sup>3</sup> (tratamiento 1).

Tabla 12. Parámetros de la relación peso-longitud, factor de condición alométrico comparativo y prueba de t para el exponente b de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tratamiento	n	Lt (mm)	Pt (g)	r	$a \times 10^{-5}$	$a^* \times 10^{-5}$	b	$t_c$	$t_t$
1	60	151,35	88,78	0,9977	1,00	1,73	3,1121	0,528	1,67
2	60	148,22	83,46	0,9953	1,00	1,74	3,0978	0,326	1,67
3	60	143,09	70,90	0,9971	2,00	1,64	3,3672	1,603	1,67
Total	180	147,55	81,05	0,9966	1,00	1,71	3,0778	0,305	1,64

n: número de ejemplares, Lt: longitud total (mm), Pt: peso total (g), r: coeficiente de correlación, a: constante de ecuación,  $a^*$ : factor de condición alométrico comparativo, b: coeficiente exponencial de regresión,  $t_c$ : valor de prueba de t calculado,  $t_t$ : valor de tabla t al 95%.

Tabla 13. Mérito económico de la producción de *O. niloticus* var. Chitralada y *L. sativa*, en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tratamiento	<i>O. niloticus</i>			<i>L. sativa</i>	Mérito Económico (s/.)
	Alimento Total (kg)	Costo de Alimento (s/.)	Ganancia en Peso (kg)	Ganancia en Peso (kg)	
T <sub>1</sub>	12,40	52,49	10,25	6,53	3,13
T <sub>2</sub>	18,17	77,51	13,34	7,07	3,80
T <sub>3</sub>	20,22	88,25	16,23	7,89	3,66

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3



Tabla 14. Retorno por sol invertido en la producción de *O. niloticus* var. Chitralada y *L. sativa*, en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

Tratamiento	Ingreso Bruto de Tilapias (s/.)	Ingreso Bruto de Lechugas (s/.)	Costo Alimenticio (s/.)	Costo de Alevinos (s/.)	Costo de Almacigos (s/.)	Ingreso Neto (s/.)	Retorno por Sol Invertido (s/.)
T <sub>1</sub>	102,48	40,0	52,49	6,50	7,70	80,56	1,44
T <sub>2</sub>	133,35	40,0	77,51	9,75	7,70	84,75	1,01
T <sub>3</sub>	162,33	40,0	88,25	13,00	7,70	101,32	1,06

T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3

### **3.7 Características Físico - Químicas del Agua**

Las características físico-químicas del agua de los estanques ostentaron valores muy cercanos entre sí y con el mismo comportamiento con el avance del proceso de cultivo.

#### **3.7.1 Temperatura del Agua y Ambiental**

La temperatura del agua observó la tendencia a incrementarse ligeramente con el avance del cultivo; fluctuando entre 26,4 °C y 27,8 °C (Fig. 13).

La temperatura ambiental con igual comportamiento, se incrementó desde 24,2 °C a 29,3 °C (Fig. 13).

#### **3.7.2 pH**

El pH del agua presentó valores por encima de 7, variando entre 7,10 y 7,40 (Fig. 14).

#### **3.7.3 Oxígeno Disuelto**

Las concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de los tanques de cultivo, fueron altas durante el primer mes de cultivo, decayendo hacia la finalización de la experiencia. En general, disminuyó desde 5,75 mg/L al inicio hasta 5,28 mg/L al final (Fig. 15).

#### **3.7.4 Dióxido de Carbono**

Las concentraciones de dióxido de carbono en el agua de los tanques de cultivo (Fig. 16), observaron la tendencia a incrementar su valor con el aumento de la densidad poblacional y con el avance del tiempo. De manera general, variaron de 0,30 mg/L a 1,54 mg/L.

### **3.7.5 Nitritos y Amonio**

Los nitritos y el amonio incrementaron sus concentraciones con el aumento de la densidad de siembra y el avance del proceso de cultivo, siendo mayores en la densidad de siembra de 333 peces/m<sup>2</sup> (T<sub>3</sub>). Los nitritos oscilaron entre 0,70 mg/L y 0,95 mg/L, mientras que el amonio lo hizo desde 0,30 a 0,90 mg/L (Fig. 17 y Fig. 18).

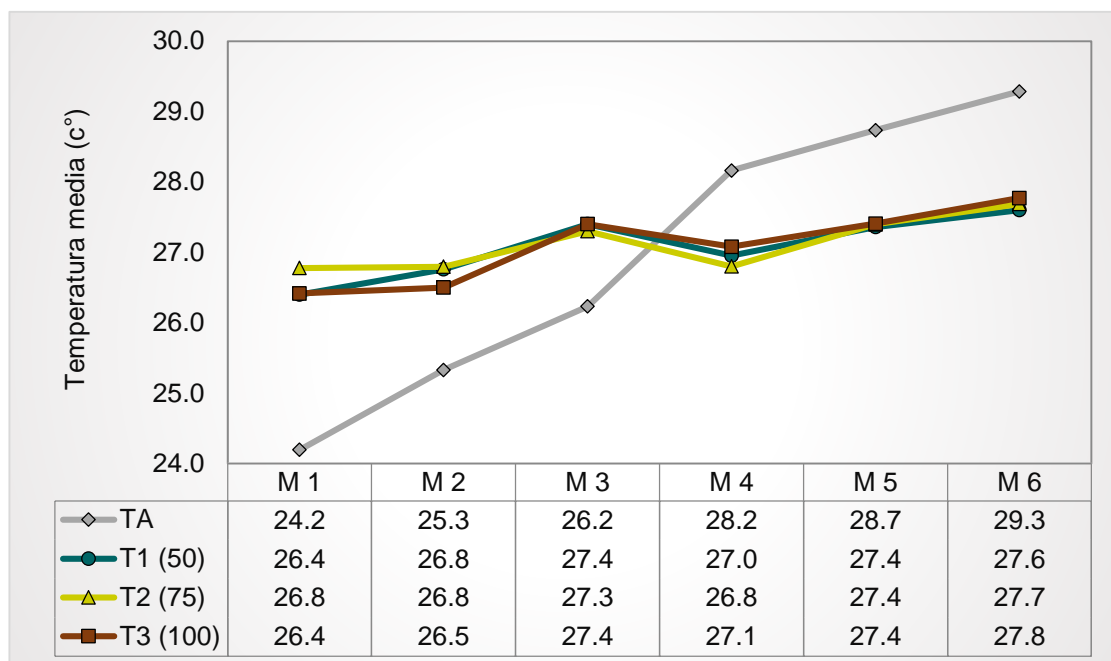


Figura 13. Variaciones mensuales de temperatura ambiental, y temperatura del agua por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

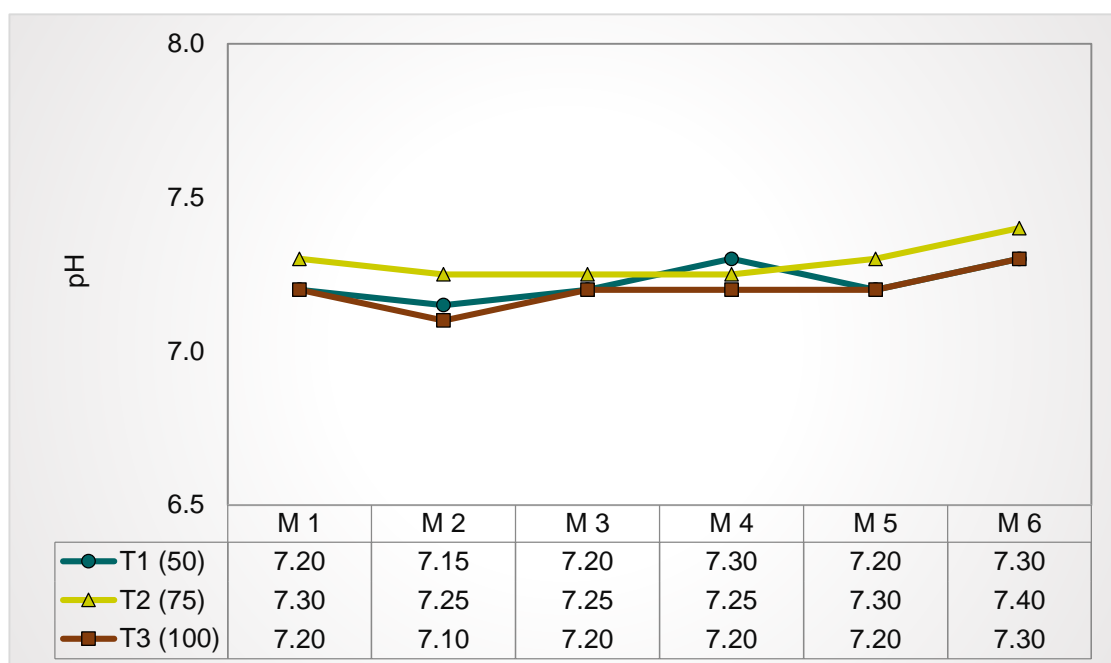


Figura 14. Variaciones mensuales de pH por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, octubre 2016 - abril 2017.

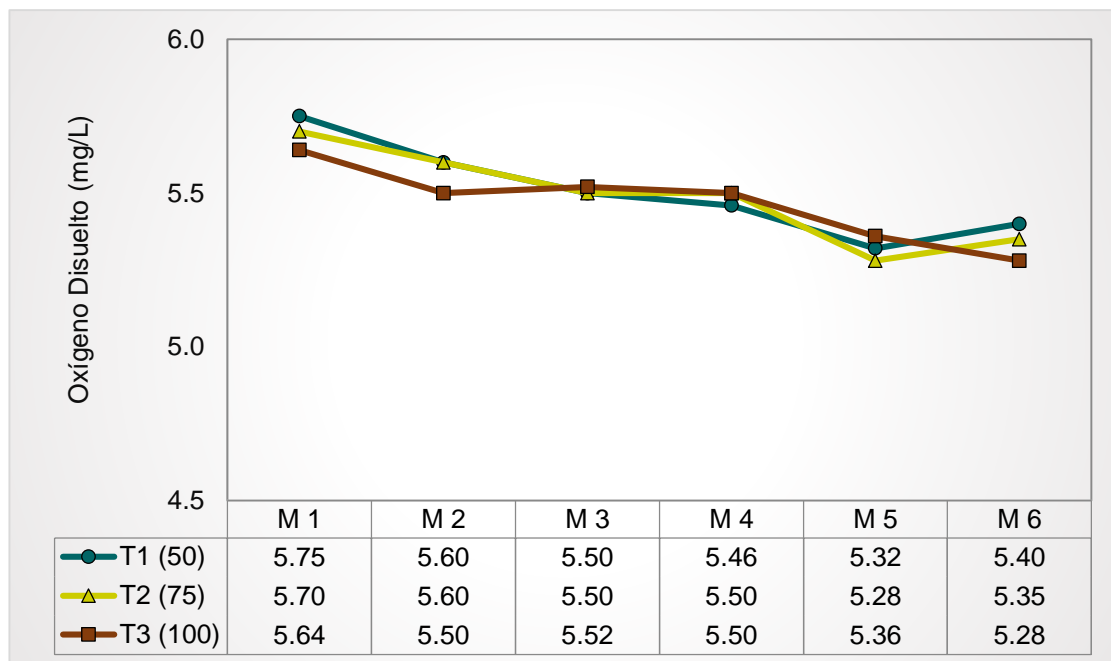


Figura 15. Variaciones mensuales de oxígeno disuelto por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

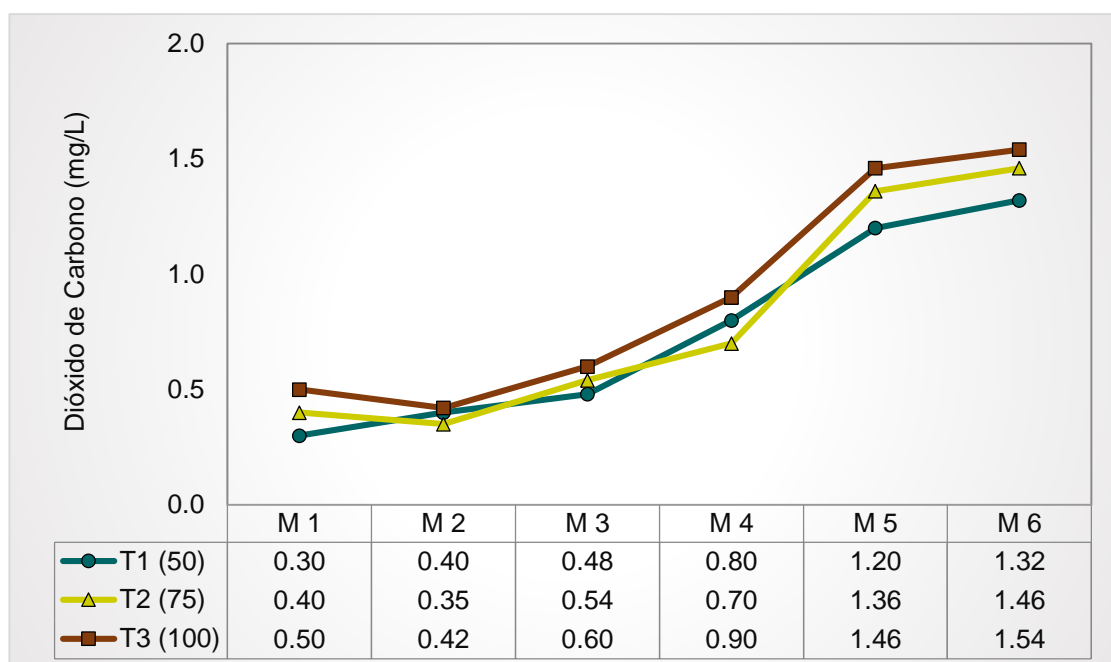


Figura 16. Variaciones mensuales de dióxido de carbono por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

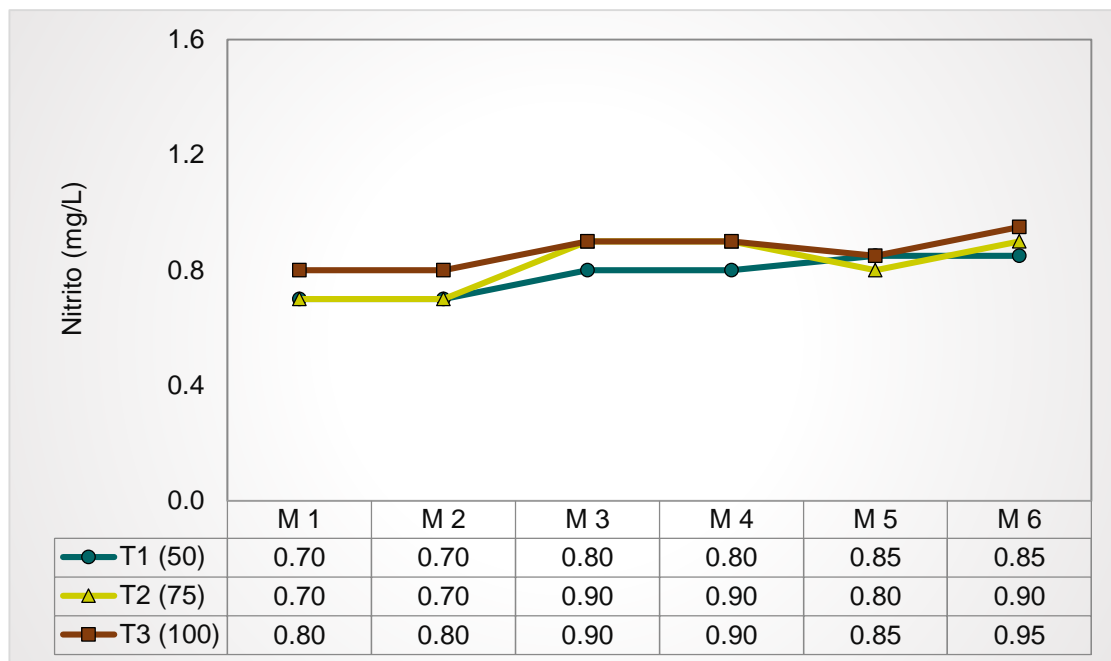


Figura 17. Variaciones mensuales de nitritos por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, octubre 2016 - abril 2017.

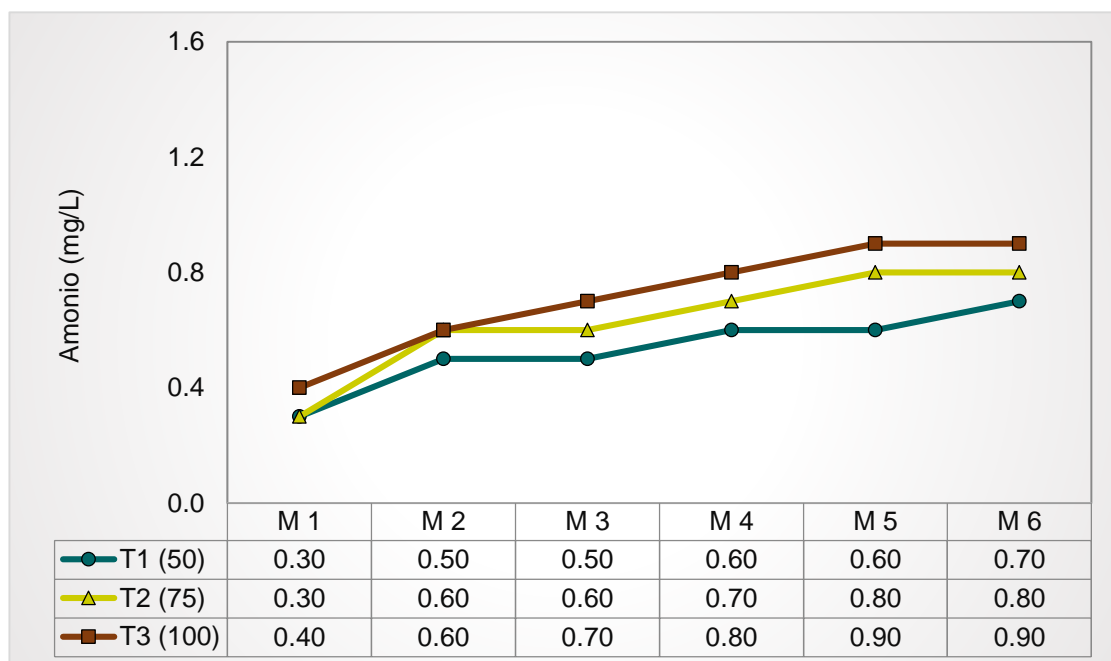


Figura 18. Variaciones mensuales de amonio por tanque de cultivo de *O. niloticus* var. Chitralada, cultivado con *L. sativa* en un sistema acuapónico con diferentes densidades de peces, Lambayeque, octubre 2016 - abril 2017.

#### IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio, determinaron el cumplimiento parcial de la hipótesis planteada en el sentido de un mayor crecimiento de los peces y plantas en la densidad de siembra mayor, puesto que, *O. niloticus* var. Chitralada creció mejor en la densidad menor de 167 peces/m<sup>3</sup>, aunque no difirió significativamente de las otras densidades, y *L. sativa* en la densidad mayor de 333 peces/m<sup>3</sup>, lo cual fue corroborado por el análisis de varianza y prueba de Tukey.

Este hecho explicaría que, en el caso de la tilapia, las densidades de siembra superiores a 167 peces/m<sup>3</sup>, afectaron el crecimiento de los peces al haber una mayor competencia por espacio; y en el caso de las lechugas, debido a una mayor cantidad de peces, la cantidad de alimento otorgado fue mayor, lo que permitió una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas que lograron un mejor desarrollo; siendo necesario indicar que la relación entre el número de peces y el de plantas, estuvo por encima del mínimo recomendado por Rakocy, Losordo and Masser (1992) de un pez por cada 1,9 plantas, pues en este estudio la relación osciló entre 2,5 a 5 peces por planta, lo que trajo como consecuencia que se supere el mínimo de alimento de 2,4 gramos para cada planta, propuesto por este mismo autor, a partir del tercer mes en el T<sub>1</sub> (2,7 – 6,5 g/planta) y desde el segundo mes por los tratamientos T<sub>2</sub> (3,5 – 9,5 g/planta) y T<sub>3</sub> (4,2 – 10,2 g/planta).

Asimismo, la cantidad de alimento diario disponible para el sistema acuapónico en el presente estudio, superó la recomendación de Rakocy (2010) de suministrar 60 g de alimento para vegetales sin fruto en sistemas de cama flotante, a partir

del cuarto mes en el tratamiento  $T_1$  (72,27 – 130,15 g/día) y desde el segundo mes en los tratamientos  $T_2$  (69,90 – 190,08 g/día) y  $T_3$  (83,05 – 204,60 g/día); situación que se repite respecto a Carruthers (2015), que recomienda 40 – 50 g/m<sup>2</sup> al día para vegetales de hoja verde en la densidad de 20 – 25 plantas/m<sup>2</sup>, siendo que en este estudio se sembraron 20 plantas/cama de 0,56 m<sup>2</sup>.

El crecimiento de los peces, obtenido en el presente estudio, fue superior a lo reportado por: Rafiee and Saad (2006), quienes utilizando Zeolita natural y *Oreochromis sp.* de 6,23 g en la densidad de 78 peces/m<sup>3</sup> (50 peces en 640 L), luego de siete semanas de cultivo, lograron 37,5 g y una sobrevivencia de 77%; García et al. (2005), evaluando un sistema experimental de acuaponía tilapia (*O. mossambicus*) - pepino (*C. sativus*), durante 75 días, obtuvieron un peso de 115 g partiendo de 90 g, en la densidad de 600 peces/m<sup>3</sup>; Arriaza y Martínez (2009), aplicando diferentes dosis de K y Fe en el sistema acuapónico, comenzaron con tilapias de 15 g en la densidad de 120 peces/m<sup>3</sup>, obteniendo 28 g (115 peces/m<sup>3</sup>) después de 28 días; Crivelenti, Borin y Da Silva (2009) con *O. niloticus* y *L. sativa* en un sistema acuapónico iniciando con peces de 140 mm y 70,7 g, finalizó con promedios de 176 mm y 100,2 g, a una densidad de 130 peces/m<sup>3</sup> durante 40 días; Silva (2012) que inició con 23,55 g y terminó con 59,76 g de peso promedio final a una densidad de 100 peces/m<sup>3</sup> por 46 días, utilizando *O. mossambicus* con *Capsicum annuum* L. “chile jalapeño”.

Esto se explicaría por el mayor tiempo de cultivo, el alimento utilizado y las densidades de peces, debiendo señalarse que, comparando con los pesos de inicio y final, en los tiempos correspondientes, también se evidencia esta superioridad del crecimiento. Por otro lado, también supera el crecimiento logrado



por: Rubio (2012), quien con el sistema de producción con recirculación (RSR) y *O. niloticus*, inició con 6,41 g y obtuvo 46,79 g a una densidad de 100 peces/m<sup>3</sup>, después de 38 días, posteriormente, redujo la densidad a 57 peces/m<sup>3</sup>, logrando un peso final de 149,29 g al cabo de 120 días, hecho que estaría ligado básicamente al mayor tiempo de cultivo; así como de Bozano, Rodrigues, Caseiro y Cyrino (1999) en evaluaciones de producción de *O. niloticus* realizado en tanques de red, presentaron promedios finales de: 90,37 g (75 peces/m<sup>3</sup>), 83,99 g (150 peces/m<sup>3</sup>), 78,45 g (300 peces/m<sup>3</sup>) y 88,02 g (600 peces/m<sup>3</sup>) en 196 días; y de Carrasco y Porro (2007), que en cultivo de *O. niloticus* en jaulas flotantes lograron pesos de: 124,84 g (200 peces/m<sup>3</sup>), 135,50 g (266,67 peces/m<sup>3</sup>) y 152,32 g (333,33 peces/m<sup>3</sup>), en seis meses de cultivo y balanceado de Purina; lo cual tendría su explicación en las densidades utilizadas y la calidad del alimento utilizado.

Sin embargo, nuestros resultados fueron inferiores a lo reportado por Campos (2013), quien utilizando el híbrido *O. niloticus* x *O. aureus* de 0,71 g de peso inicial, reporta un peso final de 206,72 g, iniciando a una densidad de 17,5 y culminando con 16 peces/m<sup>3</sup>, en 120 días de cultivo asociado a 7 plantas herbáceas (epazote, orégano orejón, y otros); Flores y Madrid (2013) experimentando acuaponía de cuatro variedades de *L. sativa* con *O. niloticus*, partiendo de 147 g (68 peces/m<sup>3</sup>), obtuvieron un peso promedio final de 222 g (67 peces/m<sup>3</sup>) después de 27 días; y Candarle (2014), quien en cultivo acuapónico de *L. sativa* con de *O. niloticus*, obtuvo un peso final de 439 g, a una densidad de 95 peces/m<sup>3</sup>, durante 414 días. Esto estaría relacionado a las menores densidades de siembra utilizadas y el periodo de cultivo.

Al haberse determinado que el crecimiento de tilapia, tanto en longitud como en peso, para las tres densidades: 167 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>), 250 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>2</sub>) y 333 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>3</sub>), sea significativo en el último mes de cultivo, estaría señalando que los peces aún no han alcanzado el nivel asintótico de su crecimiento. Lo cual fue corroborado por las tasas de incremento que se mantuvieron altas al final del cultivo.

Las tasas de incremento en longitud y peso de los peces, evidenciaron un comportamiento similar en los tres tratamientos, corroboraron la prueba de Tukey y consecuentemente el mayor crecimiento en la menor densidad (T<sub>1</sub>), que logra incrementos o ganancias generales de 204,96 g/pez, 1,14 g/pez/día y 10,248 kg en los seis meses (180 días) de cultivo, las cuales fueron superiores a aquellas obtenidas por Crivelenti et al. (2009) y Silva (2012), de 0,74 y 0,79 g/pez/día, respectivamente; por el contrario, fueron inferiores a las de Shnel, Barak, Ezer, Dafni and Rijn (2002) con 1,42 g/pez/día; Rakocy, Shultz, Bailey and Thoman (2004) y Campos (2013) ambos con 1,7 g/pez/día.

Las producciones brutas y netas en kg/m<sup>3</sup> de los peces, obtenidas en los tres tratamientos, superaron a las de Bozano et al. (1999) con 6,513 kg/m<sup>3</sup> (130 peces/m<sup>3</sup>) y 23,52 kg/m<sup>3</sup> (300 peces/m<sup>3</sup>); Rafiee and Saad (2006) con 1,99 kg/m<sup>3</sup> (59 peces/m<sup>3</sup>); Arriaza y Martínez (2009) con 3,22 kg/m<sup>3</sup>; Silva (2012) con 29,88 kg/m<sup>3</sup>; Rubio (2012) con 8,53 kg/m<sup>3</sup> (57 peces/m<sup>3</sup>); Campos (2013) con 3,307 kg/m<sup>3</sup> (16 peces/m<sup>3</sup>) y Rodrigues, Bochi, Pereira y Gomes (2017) con 3,88 kg/m<sup>3</sup> (100 peces/m<sup>3</sup>); lo cual obedecería al mayor crecimiento alcanzado en el presente estudio como a las mayores densidades de siembra. En cambio, fueron inferiores a: Shnel et al. (2002) que produjo 81,1 kg/m<sup>3</sup> en 331 días; Rakocy et al. (2004)

que reportaron 61,5 kg/m<sup>3</sup> (77 peces/m<sup>3</sup>) y 70,7 kg/m<sup>3</sup> (154 peces/m<sup>3</sup>) en 164 días; y Candarle (2014) con 41,740 kg de producción total y 83,41 kg/m<sup>3</sup> de producción bruta; lo cual se debería principalmente al mayor período de cultivo.

El mejor factor de conversión alimenticia de 1,21 se logró en la densidad más baja de 167 peces/m<sup>3</sup> (T<sub>1</sub>), coincidiendo con la mayor eficiencia alimenticia (83%) y el mayor crecimiento de los peces. El resultado obtenido es mejor que los registrados por Bozano et al. (1999) con 4,08 (150 peces/m<sup>3</sup>) y 3,57 (300 peces/m<sup>3</sup>); Shnel et al. (2002) con 2,03; Silva (2012) con 1,3 (100 peces/m<sup>3</sup>); Campos (2013) con 1,27; Flores y Madrid (2013) con 2,7 (95 y 105 peces/m<sup>3</sup>); y Candarle (2014) con 1,97 (190 peces/m<sup>3</sup>), pero alto si lo comparamos con los obtenidos por Crivelenti et al. (2009) que registra 0,5 (130 peces/m<sup>3</sup> y 40 días) y Fimbres (2015) con 1,12 (30 peces/m<sup>3</sup> y 210 días); esto podría estar relacionado con la densidad y el tiempo de cultivo.

El factor de conversión y eficiencia alimenticia de la dieta suministrada, mejoró ostensiblemente al considerar la totalidad de la biomasa ganada de peces y plantas, siendo mejores en la densidad menor de 167 peces/m (T<sub>1</sub>).

El análisis del rendimiento económico, realizado a través del mérito económico y retorno por sol invertido, evidenció que la mejor performance correspondió para la densidad de 167 peces/m<sup>2</sup>, en el cual se registró el mejor factor de conversión y eficiencia alimenticia.

El crecimiento de la lechuga en el sistema acuapónico, fue mayor en la densidad de 333 peces/m<sup>3</sup> y población de 100 peces (T<sub>3</sub>), en ambas campañas, obteniendo promedios (Campaña 1 y 2) de 203,5 mm (LR), 306,0 mm (LH) y 198,15 g de peso

fresco (Pt), crecimiento que fue mayor a lo reportado por: Castiblanco e Hidalgo (2009), quienes experimentando acuaponía *O. niloticus* - *L. sativa* L var. Tudela, lograron 110 mm (LR) y 96 mm (LH), iniciando con 40 y 45 mm, respectivamente, a una densidad de 2.5 peces/m<sup>3</sup>, después de 7 semanas; Crivelenti et al. (2009), quienes lograron el peso final de 158,3 g, en 40 días de cultivo acuapónico (130 peces/m<sup>3</sup>); y por Moreno y Zafra (2014), que lograron una longitud de 164 mm (raíz) y 166 mm (hoja) en 90 días de cultivo con una longitud de inicio de 18 mm (raíz) y 28 mm (hoja) a una densidad de 200 peces/m<sup>3</sup> y una población de 50 peces; lo que se debería al mayor tiempo de cultivo y mayor densidad de peces.

Sin embargo, es inferior a lo encontrado por: Arriaza y Martínez (2009), quienes en 28 días obtuvieron longitudes de 327 mm (LR), 201 mm (LH) y 344 g de peso fresco, aplicando dosis de K100-Fe0 a una densidad final de 110 peces/m<sup>3</sup>, utilizando lechuga variedad Parris Island; y Flores y Madrid (2013), quienes reportaron promedios finales de 300 mm (LR), 200 mm (LH) y 303 g (Pt) con lechuga cultivar Maximus en acuaponía con tilapia; situaciones que estarían ligadas al nutriente utilizado y variedad de lechuga, en el primer caso, y a la variedad de lechuga en el segundo caso.

Por otro lado, comparándolo con cultivos hidropónicos, se observa que superan los resultados obtenidos por Cárdenas (2004), quien consiguió en 36 días de cultivo, 110 mm (LR) con 112 mm (LH), para *L. sativa* variedad Verónica y 102 mm (LR) con 112 mm (LH) para *L. sativa* variedad Vulcán, con un peso promedio por planta de 40 g, en ambos casos, cultivados en medio Sunshine mix-hidropónico; pero obtiene mejores pesos en el sistema convencional de 168 g (var. Verónica) y 141 g (var. Vulcán) en 30 días. Siendo superado por Gutiérrez (2011),

quien con *L. sativa* tipo mantequilla logró alcanzar los 193 – 195 mm (LH) y 219 g (con y sin recirculación de solución nutritiva) en 24 días, y 197 mm (LH) y 228 g (sistema de raíces flotantes) en 29 días posterior al trasplante.

La mayor producción bruta en peso fresco de lechuga, fue logrado por el T<sub>3</sub> en ambas campañas, obteniéndose en promedio 7,076 kg/m<sup>2</sup> (Campaña 1: 5,984 kg/m<sup>2</sup>, Campaña 2: 8,138 kg/m<sup>2</sup>) en los 6 meses de la investigación, el cual supera a los obtenidos por Rakocy et al. (1992) que obtuvieron 4,9 kg/m<sup>2</sup>, Arriaza y Martínez (2009) con 1,56 kg/m<sup>2</sup>; y por Grande y Luna (2010) con 2,03 kg/m<sup>2</sup>.

Las características físico-químicas del agua guardaron gran similitud entre sí en los tres tratamientos debido a que sus variaciones no fueron muy pronunciadas, lo cual fue un indicador de la homogeneidad de la calidad del agua y que no interfirieron en el factor motivo de estudio.

Los valores obtenidos de las variaciones térmicas del agua (26 - 28°C), encuadran en el rango de 20 - 28°C sugerido por Boyd (1999) y entre 20° y 30°C considerado por Saavedra (2006), siendo adecuados para piscicultura de peces de agua cálida; sin embargo, no encuadraron totalmente dentro del rango de buen crecimiento para esta especie que esta entre 22 y 32°C, de acuerdo a FAO (2014), quien además indica rangos de temperatura de 16-30°C para las plantas, en sistemas acuapónicos, dentro de los cuales están las temperaturas observadas en el presente estudio. Estas bajas variaciones de temperatura, fueron similares a las indicadas por Flores y Madrid (2013), de 25,7 a 27,7°C; en contraposición a los registros de variaciones altas reportadas por: Rubio (2012), de 16,46 a 32,47°C y Rodrigues et al. (2017), de 16 a 34°C; así como de las variaciones medias

obtenidos por Campos (2013), de 20 a 31,5°C y por Moreno y Zafra (2014), de 18,4 a 22,2°C.

La temperatura ambiental (24 - 30°C) en relación al tiempo, obedecieron a los cambios de estación en el período que abarcó el cultivo: La temporada máxima promedio fresca de 25°C y la temporada calurosa de 29°C. Esto coincidió con lo sugerido por Jaques y Hernández (2005), que consideran una temperatura máxima de 30°C, sin embargo, su óptimo oscila entre 18 a 23°C, indicando que la combinación de peces y vegetales cultivados presenta similitudes en cuanto a temperaturas óptimas de crecimiento. Silva (2012), registra valores similares a los del presente estudio (24,3 - 27,4°C). Además, puede observarse que Moreno y Zafra (2014) reportaron promedios de 24 a 27°C de octubre a enero, en su trabajo realizado en la ciudad de Trujillo, siendo valores inferiores a los reportados, dada la ubicación del lugar.

El pH del agua de los tres tratamientos se encontró entre 7,1 y 7,4, indicando aguas alcalinas, cuyos valores que se ubicaron dentro del rango de 7 a 8, considerado por Saavedra (2006) y Kubitza (2006) como adecuados para estos sistemas de cultivo; la misma situación ocurrió con FAO (2014), que indica rangos de 6 a 8,5 para peces de aguas cálidas y 5,5 a 7,5 para plantas en sistemas acuapónicos, Castiblanco e Hidalgo (2009) registraron valores por encima (7,7) y debajo (6,22) del neutro, así como de Silva (2012), oscilando entre 7,2 - 8,5. Por otro lado, superaron los valores de Flores y Madrid (2013) de 6 a 7; pero se encontraron por debajo de los niveles reportados por Moreno y Zafra (2014) con variaciones de 7,4 a 7,8; y Crivelenti et al. (2009) de 7,7 a 7,9 en sistemas acuapónicos de tilapia y lechuga.

Los valores del oxígeno disuelto (5,28 – 5,75 mg/L) en el agua de los tres tratamientos, alcanzaron buenos niveles de concentración, señalando la buena calidad del agua en cuanto a este parámetro; estuvieron por encima de 4 mg/L, considerado como óptimo por Kubitzka (2006) para los cultivos en sistemas de recirculación y de 1 mg/L, considerado por Saavedra (2006), como el mínimo tolerable por esta especie, incluso en períodos cortos con valores menores; encontrándose dentro del rango considerado por FAO (2014), que indica niveles de 4 a 6 mg/L para peces de aguas cálidas y mayores a 3 mg/L para plantas, en sistemas acuapónicos. Sus bajas variaciones, en cultivos acuapónicos, son coincidentes con Campos (2013) de 4 a 5,3 mg/L y Flores y Madrid (2013) de 3,3 a 6,49 mg/L; y discordante de las variaciones altas reportadas por Rubio (2012) desde 0,9 a 6,81 mg/L y Rodrigues et al. (2017) de 1 a 6 mg/L.

El incremento del CO<sub>2</sub> disuelto en el agua con el aumento de la densidad, se debió que, al existir una mayor población de peces en el tanque, por efecto de la respiración se generó una mayor liberación de este gas en el agua; asimismo, su incremento con el paso del tiempo, se debe a que, al incrementar la biomasa de los peces, habría una mayor exigencia respiratoria con la consiguiente producción de anhídrido carbónico. Sin embargo, su concentración es muy inferior a 20 mg/L considerado peligroso para los peces por el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero y Agencia Española de Coordinación Internacional (FONDEPES y AECI, 2004) y por debajo del rango de 5-10 mg/L, considerado en el manejo de cultivo de tilapia por Saavedra (2006). Estos valores bajos, indicarían el buen aprovechamiento de este gas por parte de las plantas.

El incremento de las concentraciones de amonio y nitritos en el agua de los tanques con el aumento de la densidad poblacional y con el tiempo, obedeció a la mayor cantidad de alimento otorgado a los peces al aumentar su biomasa por la densidad poblacional y por el crecimiento de los peces, con el avance del proceso de cultivo.

Sus concentraciones se encontraron por debajo de 3 mg/L en el caso del amonio e inferior a 1 mg/L, para los nitritos, considerado por Candarle (2014), para los peces; siendo que, para las plantas, este autor, considera que deben ser menores a 30 mg/L y 1 mg/L, respectivamente, para aguas cálidas.

En relación a los nitritos, los valores obtenidos fueron menores a los reportados por Rafiee and Saad (2005), que obtuvieron una concentración de 9,77 mg/L en cultivo con sistema de recirculación, y de Sánchez (como se citó en Campos, 2013) que registró fluctuaciones de 1,36 a 4,21 mg/L. Se encontraron dentro de los niveles reportados por Bautista y Ruiz (2011), que consideraron valores de 0,75 a 5 mg/L, dentro del rango adecuado en sistemas de cultivo intensivo de tilapia; Rakocy et al. (2004) con 0,4 a 1,1 mg/L; Crivelenti et al. (2009) de 0,4 a 1,4 mg/L; Rubio (2012) que llegó a un máximo de 4,1 mg/L; Campos (2013) de 0,035 a 1,84 mg/L; y, Rodrigues et al. (2017) de 0 a 5 mg/L.

Respecto del amonio, estuvo dentro del rango aceptado por el Manual de crianza de Tilapia (Nicovita, s, f) de 0,6 a 2,0 mg/L y Masser, Rakocy and Losordo (1999), que sostienen que concentraciones de iguales o mayores a 5 mg/L causan un ligero estrés en el caso de la tilapia cultivada en tanques de recirculación asociada al cultivo de plantas; y fueron inferiores a los promedios de 3,3 mg/L (3-6 mg/L)



reportados por Calderón (2012) y de 3,41 mg/L por Rubio (2012) en cultivos acuapónicos de *O. niloticus* y *L. sativa*.

## V. CONCLUSIONES

1. La densidad poblacional de los peces afectó el crecimiento de *O. niloticus* var. Chitralada en relación inversa, siendo mayor en la densidad de 167 peces/m<sup>3</sup>, y el de *L. sativa* en relación directa, la misma que creció mejor en la densidad más alta de 333 peces/m<sup>3</sup>.
2. El factor de conversión, la eficiencia alimenticia y el crecimiento de los peces y lechugas guardaron una relación directa.
3. La relación peso – longitud y el exponente b, reflejaron el efecto de la densidad poblacional sobre el crecimiento de *O. niloticus* var. Chitralada.
4. Los parámetros físico-químicos del agua se encontraron dentro los niveles aceptados para el cultivo de ambas especies (peces y plantas) en un sistema acuapónico.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Realizar investigaciones sobre acuaponía trabajando con *O. niloticus* y *L. sativa* u otras especies de peces y plantas de cultivo, con densidades poblacionales de peces más altas de las experimentadas en el presente estudio.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriaza, A., y Martínez, J. (2009). *Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro* (proyecto especial de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Bautista, J. C., y Ruiz, J. M. (2011). Calidad de Agua para el Cultivo de Tilapia en Tanques de Geomembrana. *Fuente*, 3 (8),10-14.
- Boyd, C. E. (1998). *Water quality for pond aquaculture*. Alabama, Estados Unidos: Research and Development.
- Bozano, L. G., Rodrigues, S. R., Caseiro, A. C., y Cyrino, J. E. (1999). Desempenho da tilápia nilótica *Oreochromis niloticus* (L.) em gaiolas de pequeno volume. *Scientia Agrícola*, 56 (4), 819-825. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161999000400008](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000400008)
- Calderón, H. (2012). *Cultivo asociado de tilapia roja (Oreochromis sp.) y Lechuga (Lactuca sativa); libres de químicos, mediante la Acuaponia* (tesis de pregrado). Universidad Nacional José Faustino Carrión, Huacho, Perú.
- Campos, R. (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 de maestría). Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz.
- Candarle, P. (2014). *Técnicas de Acuaponía*. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC).
- Cárdenas, C. (2004). *Determinación de los efectos en rendimiento de la producción de lechuga hidropónica y convencional en condiciones de El Zamorano, Honduras* (proyecto especial de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Carrasco, J., y Porro, M. (2007). *Cultivo de Oreochromis niloticus "tilapia nilotica" en tres densidades de siembra mediante el sistema de jaulas flotantes*

- (tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Carruthers, S. (2015). Small-scale aquaponic food production. *Practical Hydroponics and Greenhouses*. 152: 42-46 pp.
- Castiblanco, E., e Hidalgo, J. (2009). *Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (Lactuca sativa) bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura* (proyecto especial de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Church, D. C., and Pond, W. G. (1982). Basic animal nutrition and feeding. New York, Estados Unidos: John Wiley and Sons.
- Crivelenti, L. Z., Borin, S., y Da Silva, N. R. (2009). Piscicultura superintensiva asociada à hidroponia em sistema de recirculação de água. *Veterinary Science*, 14 (2), 109-116.
- Diver, S. (2006). Aquaponics - Integration of Hydroponic with Aquaculture. Horticulture. National Center for Appropriate Technology (NCAT), 1-18.
- Falcón, E. (2010). *“Más vida en el desierto; Acuaponía en día siete”*. México. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/30311872/Mas-Vida-en-el-Desierto-Acuaponía-en-Día-Siete>
- FAO (2003). Revisión del estado mundial de la acuicultura. *Circular de Pesca*, 886 (2), 1-58.
- FAO (2008). *Estado Mundial de la Pesca y Acuicultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- FAO (2014). *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Fimbres, Y. (2015). *Caracterización de los nutrientes de interés hidropónico contenidos en la fracción particulada residual de cultivo de tialpia (Oreochromis spp.)* (tesis de maestría). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, Baja California Sur.

- Flores, L., y Madrid, J. (2013). *Comparación de la producción de lechuga de los cultivares Maximus, Locarno, Versai y Kristine en acuaponía con tilapia en Zamorano* (proyecto especial de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- FONDEPES y AECI (2004). Manual de Cultivo de Tilapia. Subproyecto Programa de Transferencia de Tecnología en Acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas (PADESPA), Perú.
- García, U., León, C., Hernández, F., y Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 1 (9), 1-5.
- Grande, E., y Luna, P. (2010). *Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m<sup>2</sup> con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia* (tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Gutiérrez, J. (2011). *Producción Hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva*. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Iturbide, K. (2008). *Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0157\\_MT.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0157_MT.pdf)
- Jaques, H. C., y Hernández, M. J. (2005). Valoración productiva de lechuga hidropónica con la técnica de película de nutrientes (NFT). *Naturaleza y Desarrollo*, 3 (1), 11-16.
- Kubitza, F. (2006). *Ajustes ãa nutricao e alimentacaodas tilápias*. Panorama da Acuicultura. 16 (98), 15-24.
- Lewis, W. M., Yopp, J. H., Schramm, H. L., and Brandenburg, A. M. (1978). Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries Society*, 107 (1), 92-99.

- Masser, M. P., Rakocy, J. E. and Losordo, T. M. (1999). Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems. *Southern Regional Aquaculture Centre*, (452).
- Moreno, E. W., y Zafra, A. (2014). Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. *REBIOL*, 34 (2), 60-72.
- Nicovita (s, f). Manual de Crianza Tilapia. Recuperado de <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>
- Ostle, B. (1994). *Estadística aplicada: técnicas de la estadística moderna, cuándo y dónde aplicarla*. México: Limusa.
- Rafiee, G. and Saad, C. R. (2005). Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*, 244, 109-118.
- Rafiee, G. and Saad, C. R. (2006). The Effect of Natural Zeolite (Clinoptiolite) on Aquaponic Production of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) and Lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia), and Improvement of Water Quality. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 8, 313-322.
- Rakocy, J. E. (1989). Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. *Island Perspectives*, 3, 4-20.
- Rakocy, J. E., Losordo, T. M., and Masser, M. P. (1992). Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture. Southern Region Aquaculture Center (SRAC), (454), 1-6.
- Rakocy, J. E., Shultz, R. C., Bailey, D. S., and Thoman, E. S. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: Comparing a batch staggered cropping system. *Acta Horticulturae* (ISHS), 648, 63-69.
- Rodrigues, A., Bochi, O., Pereira, E., y Gomes, E. A. (2017). Avaliação da produtividade da aquaponia comparada com a hidroponia convencional. *Vivências*, 13 (24), 79-91.

- Rubio, S. (2012). *Análisis técnico de producción de tilapia Oreochromis niloticus y lechuga acrópolis Lactuca sativa en acuaponia* (tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional, Sinaloa, México.
- Saavedra, M. A. (2006). Manejo del cultivo de tilapia. Nicaragua: *Comités Técnicos Interinstitucionales de Educación Ambiental (CIDEA)*.
- Shnel, N., Barak, Y., Ezer, T., Dafni, Z., and Rijn, J. V. (2002). Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering*, 26, 191-203.
- 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). Obregón, Sonora. Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón, Sonora.
- Snedecor, G., y Cochran, W. (1967). *Statistical methods*. Iowa State University Press, Ames – Iowa.
- Steel, R., y Torrie, J. (1988). *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. México: Mc. Graw Hill.
- Zar, J. (1996). *Bioestatical Analysis*. New York, Estado Unidos: Prentice Hall.