

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



**Producción acuaponica de *Lactuca sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” (línea chitralada), en laboratorio**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE**  
**BIOLOGO ACUICULTOR**

**AUTORES:**

**Bach. Susana Harumi Segura Giraldo**

**Bach. Ruly Jhancarlo Balois Gonzalez**

**ASESOR:**

**Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas**

**Nuevo Chimbote, Perú 2017**

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



**Producción acuapónica de *Lactuca sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” (línea chitralada), en laboratorio**

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

**AUTORES:**

**Bach. Susana Harumi Segura Giraldo**

**Bach. Ruly Jhancarlo Balois Gonzalez**

**ASESOR:**

.....

**Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas**

**Nuevo Chimbote, Perú 2017**

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



**Producción acuapónica de *Lactuca sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *Oreochromis niloticus* “Tilapia gris” (línea chitralada), en laboratorio**

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

**REVISADO Y APRBADO:**

.....  
**Dr. Luis Ángel Campoverde Vigo**  
**Garay**

.....  
**Mg. Juan Miguel Carhuapoma**

.....  
**Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas**

**Nuevo Chimbote, Perú 2017**

## DEDICATORIA

A Dios porque ha sido mi apoyo y mi fortaleza en cada paso que doy, cuidándome, guiándome y brindándome entendimiento para continuar en este camino.

A mis padres Ismael y Marisol quienes han sido mis apoyos, mi motor para continuar en ese camino, acompañándome durante todo este tiempo, y quienes durante mis tropiezos me dieron su mano para levantarme y darme siempre fortaleza y motivación para seguir adelante y nunca rendirme, velando por mi seguridad y mi educación, brindándome todo su amor y apoyo en todo lo que me he propuesto.

**Susana**

A Dios ya que por el tenemos todo lo necesario para vivir y lograr nuestras metas.

A mi familia en especial a mis padres por darme todo el amor, cariño y dedicación necesaria durante mi formación personal y académica.

**Ruly Jhancarlo**

## AGRADECIMIENTO

A un gran ser humano, que no dudo en brindarnos su apoyo y siempre estuvo dispuesto a ayudarnos, a nuestro asesor Dr. Guillermo Belisario Saldaña Rojas, que gracias a sus conocimientos, guía académica, tiempo y dedicación nos ha permitido terminar con gran satisfacción nuestra tesis.

A todos los docentes de nuestra querida Escuela Académica Profesional de Biología en Acuicultura, quienes nos brindaron sus conocimientos en la formación de futuros profesionales, gracias por su tiempo, dedicación y paciencia brindada, siempre los llevaremos en nuestra mente y corazón.

A mis profesores de la universidad por brindarme todos sus conocimientos y experiencias que me permitió ser una mejor persona y un mejor profesional.

Los autores.

## INDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRATC.....	2
1.- INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	6
HIPOTESIS.....	7
2.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1.-Localización del experimento.....	8
2.2.-Material experimental.....	8
2.2.1.-Población.....	8
2.2.2.-Muestra.....	8
2.3.-Acondicionamiento de las unidades experimentales.....	9
2.4.-Fertilizantes para el grupo control.....	9
2.5.-Dieta para los alevines de <i>Oreochromis niloticus</i> .....	10
2.6.-Registro biométrico de los peces y plantas.....	10
2.7.-Registro de los parámetros físicos y químicos del agua .....	10
2.8.-Tratamiento estadístico de los datos colectados.....	10
3.- RESULTADOS.....	11
3.1.- <i>L. sativa</i> “lechuga” .....	11

3.2.-Flujo de agua.....	16
3.3.-Calidad de agua.....	17
3.4.-Cultivo de peces.....	18
4.- DISCUSIÓN.....	20
5.- CONCLUSIONES.....	27
6.- RECOMENDACIONES.....	29
7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
ANEXO.....	35

## INDICE DE TABLAS

- 1.-Peso, talla, longitud de la hoja (LH) y diámetro de la hoja (DH) de *L. sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *Oreochromis niloticus*.....12
- 2.-Tasa de crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*.....16
- 3.-Crecimiento y mortalidad de *Oreochromis niloticus*.....17
- 4.-Flujo de agua en el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*.....18
- 5.- Concentraciones de nutrientes ( $\text{mg/L}^{-1}$ ), oxígeno ( $\text{mg/L}^{-1}$ ), pH y temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en la producción acuapónica de *L. sativa* “lechuga” .....21
- 6.- Gastos determinados en la producción de *L. sativa*.....22

## INDICE DE FIGURAS

1.-Crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> “lechuga” en peso durante el experimento para los tres tratamientos.....	13
2.- Crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> “lechuga” en tamaño de planta durante el experimento para los tres tratamientos.....	14
3.- Crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> “lechuga” en longitud de hoja durante el experimento para los tres tratamientos.....	14
4.- Crecimiento de <i>Lactuca sativa</i> “lechuga” en diámetro de hoja durante el experimento para los tres tratamientos.....	15
5.- Mortalidad de <i>Lactuca sativa</i> “lechuga” durante el experimento.....	16
6.- Comportamiento de los parámetros físico químicos en el crecimiento de <i>L. sativa</i> “lechuga” .....	19

## RESUMEN

Se evalúa la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* línea chitralada a diferentes densidades en laboratorio. Se utilizaron densidades de 200, 250 y 300 alevines  $\text{m}^{-3}$  de agua. Los mayores crecimientos de *L. sativa* se obtuvieron a densidades de 300 alevines  $\text{m}^{-3}$  de  $2.67 \pm 0.53$  gr, siendo significativamente superior ( $p < 0.05$ ) en comparación con 200 y 250 alevines  $\text{m}^{-3}$  que presentaron promedios de  $1.87 \pm 0.35$  y  $1.62 \pm 0.28$ . Al día 40 el mayor peso de las plantas correspondió al tratamiento de 250 alevines  $\text{m}^{-3}$  con valores de  $4.33 \pm 0.10$  gr y esta tendencia se mantuvo hasta el final del experimento, con la diferencia que el tratamiento de 200 alevines  $\text{m}^{-3}$  obtuvo el mayor peso, y una mayor mortalidad que el tratamiento de 250 y 300 alevines  $\text{m}^{-3}$ . Por otro lado la mayor biomasa de *O. niloticus* correspondió al tratamiento de 300 alevines  $\text{m}^{-3}$  con valores de  $94.27 \pm 7.73$ . Se concluye que el mejor tratamiento fue el de 300 alevines  $\text{m}^{-3}$ . Se confirma a la acuaponía como un medio alternativo de bajo costo para el cultivo de *L. sativa*.

**PALABRA CLAVE:** *Oreochromis niloticus*, *Lactuca sativa*, acuaponía, densidad.

## ABSTRATC

The aquaconic production of *L. sativa* is evaluated using effluents from the culture of *O. niloticus*. chitralada variety, at different densities in the laboratory. It was used densities of 200, 250 and 300 m<sup>-3</sup> fry per m<sup>-3</sup>. The highest growths of *L. sativa* of 2.67±0.53 gr, were obtained at densities of 300 fry per m<sup>-3</sup>; being significantly higher (p <0.05) than *L. sativa* weight of 1.87±0.35 obtained from 200 fry and 1.62±0.28 gr obtained from 250 fry per m<sup>-3</sup>. At day 40 the highest weight of the plants corresponded to the treatments of 250 fry per m<sup>-3</sup> with values of 4.33±0.10 gr. this tendency was maintained until the end of the experiment, With the difference among the treatment of 200 fry per m<sup>-3</sup>, plants obtained the highest weight with a higher mortality than the treatment of 250 and 300 fry per m<sup>-3</sup>. On the other hand, the highest biomass of *O. niloticus*. Corresponded to the treatment of 300 fry per m<sup>-3</sup> with values of 94.27±7.73.

It is concluded that the best treatment was 300 fry per m<sup>-3</sup>. Aquaponics is confirmed as a low cost alternative for the cultivation of *L. sativa*.

KEYWORD: Oreochromis niloticus, Lactuca sativa, aquapony, density.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta parte del problema mundial de la escasez de agua dulce, al utilizar cerca del 70% de las reservas mundiales de agua (FAO, 2013); A esto se suman los sistemas acuícolas que realizan recambios que van desde el 50 al 300% diario del volumen total de agua, con el fin de diluir los desechos que los mismos organismos acuáticos generan continuamente en grandes cantidades (Mateus, 2009), por ello para lograr la sustentabilidad en los cultivos acuícolas es necesario valerse de tecnología como los sistemas de recirculación de agua (SRA) y tratamiento de la misma que permite optimizar un recurso tan valioso como el agua (Galli & Sal, 2007). Respecto a ello, existen innovaciones tecnológicas agrícolas que están disminuyendo su uso, entre ellas, la técnica de hidroponía y la más reciente acuaponía (Stover, 2009).

La técnica de acuaponía es un sistema que combina las técnicas de acuicultura con el cultivo hídropónico de plantas, donde los efluentes de los peces convertidos en nutrientes en virtud de la actividad microbiana, son aprovechados por las plantas que comparten el agua a través de canales; A este sistema se le conoce como Nutrient Film Technique (NFT), es el sistema hídropónico recirculante más popular para la producción de cultivos en el mundo, permitiendo que los nutrientes sean consumidos y éstos a su vez purifiquen el agua para los peces (Stover, 2009). El principio de este sistema (NFT) consiste en la circulación constante de nutrientes en donde no existe pérdida o salida al exterior de los nutrientes por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado (Carrasco & Izquierdo, 1996).

Los sistemas acuapónicos que integran el cultivo de peces y plantas (Alder *et.al.* 2003 y Tyson *et.al.* 2011), son necesarios para reducir los impactos por excesiva carga de nutrientes y disminuirlos en el agua, y son complementarios a los métodos de separación física tales como, la sedimentación o filtración que están limitados en la eliminación de nutrientes. Por ello la acuaponía se presenta como una de las pocas técnicas disponibles que pueden eliminar componentes de N y P disueltos generados a través de la acuicultura por medio de las plantas pues estas utilizan estos nutrientes para su crecimiento (Buzby & Lin, 2014).

El concepto de la utilización de residuos disueltos de los peces para fertilizar las plantas ha existido durante miles de años, con las primeras civilizaciones de Asia y América del sur aplicando este método (Somerville *et.al.* 2014). A través del trabajo pionero del Instituto Nueva Alquimia y otras instituciones académicas de América del Norte y Europa en la década de 1970, y una mayor investigación en las siguientes décadas, esta forma básica de acuaponía desarrolló modernos sistemas de producción de alimentos reduciendo los efectos o impactos contaminantes de las aguas de desechos de la acuicultura (Aguilera *et.al.* 2012).

Por otro lado, Racocy *et.al.* (2004). Anota que en un sistema acuapónico el agua es bombeada hacia la planta en cultivo que puede estar en un lecho de grava o tanques o en tuberías de PVC; las raíces de las plantas y las bacterias, remueven los nutrientes del agua, transformándose en fertilizante natural líquido para el crecimiento de ellas, a la vez de limpiar el agua, la cual, es oxigenada por medios sencillos y se reutiliza una y otra vez en los tanques de cría de peces.

Mateus (2009) y Mojica (2010), destacan que la especie de mayor producción cultivada con éxito en los sistemas de acuaponía, tanto en peso y número de operaciones comerciales, es la tilapia; un pez teleósteo, de la familia de los Cíclidos, endémico y originario de África y el Cercano Oriente, habita en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo en agua dulce (Cantor, 2007); presenta ítemes alimentarios diversos, siendo considerado omnívora (Hurtado, 2003); aunque en etapa juvenil es casi siempre zooplanctófaga (Morales, 1991). Son peces que soportan concentraciones de oxígeno bastante bajas, su requerimiento mínimo es de  $0.5 \text{ mg/L}^{-1}$ ; no obstante, se destaca que para su cultivo, la concentración recomendada es  $>5 \text{ mg/L}^{-1}$  en la columna de agua y de un mínimo de  $3 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua residual. Con relación a la temperatura, el mejor desempeño en el cultivo de “tilapia” se desarrolla en condiciones de temperatura entre  $26^\circ$  y  $32^\circ \text{ C}$  (Ross, 2000).

Para el cultivo de tilapia se han desarrollado diversas líneas, una de ellas es la tilapia *O. nilotica* línea chitralada, que al ser comparada con otras variedades de tilapia (Supreme, Chitralada y Bouaké), se encontró que la Chitralada presenta una cabeza más corta y un tronco más largo lo cual presupone que sus dimensiones corporales son más apropiadas para la valoración económica en los sistemas de cultivo, pues se

obtiene mejor aprovechamiento de su carne durante el procesamiento confirmándose como una buena especie para producción de carne (Runjaic *et.al.* 2011).

Con relación a la especie vegetal para la acuaponía se viene utilizando diferentes tipos de plantas, entre ellas *L. sativa* perteneciente a la familia Compositae, uno de los cultivos vegetales más importantes en el mundo, rica en vitamina A, C y minerales como el calcio y el hierro, existiendo variación en los nutrientes entre variedades de la especie (Tindall, 1993). Es una hortaliza típica de climas frescos. Los rangos de temperatura donde la planta crece en forma óptima, están entre los 15 °C y 18°C, con temperatura máximas de 21°C a 24 °C y mínima de 7°C (Cásseres, 1984). Hernández (1993) anota que es una planta que posee un sistema radicular poco ramificado con hojas lisas, sin peciolo y crece en suelo con un intervalo de pH de 6 a 6.8 y es considerada como una hortaliza ligeramente tolerante a la acidez.

*L. sativa* es el segundo cultivo más producido a nivel hidropónico después del “tomate”, este cultivo germina y se desarrolla entre 50 a 60 días, en la técnica hidropónica resulta muy económico y seguro, siendo fácil controlar y evitar las plagas y los ataques de insectos en este sistema por cuanto generalmente se emplean invernaderos (Alpizar, 2008). Aunque los cultivos hidropónicos han sido realizados desde la antigüedad, la combinación con la acuicultura es relativamente reciente, pero como la tecnología se desarrolla y es redefinida cada día, estos sistemas tienen el gran potencial de ser un método más eficiente y sostenible para el cultivo de peces y vegetales (Muños, 2012). Por ello la eficacia en los sistemas de acuaponía consiste en conocer las dimensiones de estos, teniendo en cuenta el equilibrio óptimo entre la producción de nutrientes del cultivo de animales y la absorción de nutrientes por las plantas, por cuanto un crecimiento insuficiente de la planta resultara en una acumulación de nutrientes en el sistema (Buzby & Lin 2014).

La importancia de incluir plantas en un sistema de cultivo, radica en la facilidad de asimilación de las sustancias presentes en dichos efluentes y su transformación de sustancias nutritivas para ellas mismas. Por otro lado se estaría presentando las bases para la utilización de tratamientos alternativos de aguas residuales de alto contenido tóxico a través de las plantas como *L. sativa* sin modificar ni afectar las condiciones ambientales del cultivo. Con respecto del punto de vista económico, la producción de

*L. sativa* tendría gran importancia por la utilización de efluentes con alto contenido de nutrientes, que además de permitir un crecimiento igual que el de los cultivos convencionales, sea de bajo costo y sin dejar de lado que ya existe un mercado para estos productos naturales (Racocy, 1999).

Teniendo en cuenta que los sistemas acuícolas generan continuamente grandes cantidades de desechos que pueden aprovecharse y obtener otro cultivo que genere a su vez una ganancia adicional, que además se traduce en mayores ingresos para el empresario. Por ejemplo, se ha reportado que por cada tonelada de pescado que se produce por acuaponía por año, se pueden llegar a producir alrededor de 7 TM de algún cultivo, ya sea “lechuga” o “albahaca” (CICESE, 2008), y a su vez se puede traducir en mayores puestos de trabajo dado la mayor necesidad de controlar dichos cultivos.

Es así que es necesario realizar investigaciones en cómo integrar ambas actividades y delimitar algunas variables como la densidad de peces, la densidad de plantas, etc., cuyo fin es el que se pretende alcanzar con el presente trabajo de investigación. Utilizar agua del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) bajo un sistema acuapónico con *L. sativa* permitirá mejorar la calidad del agua y a la vez se producirá biomasa vegetal, por ello planteamos el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es el efecto de la densidad de siembra de 200, 250 y 300 alevines  $m^{-3}$  de *O. niloticus* (línea chitralada) en la Producción acuapónica de *L. sativa* en laboratorio?

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*. Línea chitralada a diferentes densidades en laboratorio. Los objetivos específicos fueron:

- Cuantificar el crecimiento en longitud de hoja, ancho de hojas, tamaño, peso y biomasa de *L. sativa* cultivada con efluentes del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) a densidades de 200, 250 y 300 alevines  $m^{-3}$ .
- Determinar el comportamiento de pH, oxígeno disuelto, temperatura, nitratos, nitritos, amonio y fosfato, en el sistema acuapónico de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo a diferentes densidades de 200, 250 y 300 alevines  $m^{-3}$  de *O. niloticus* “tilapia gris” (línea chitralada).

- Determinar los costos para la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes provenientes del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) a diferentes densidades (200, 250 y 300 alevines m<sup>-3</sup>)

Moreno & Zafra (2014) utilizaron efluentes de 50 y 25 organismos juveniles de tilapia roja para el crecimiento de *L. sativa* de los cuales el tratamiento de 50 organismos tuvo mejores resultados por tanto la hipótesis planteada fue que si en la producción de *L. sativa* utilizamos efluentes provenientes del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) a diferentes densidades (200, 250 y 300 alevines m<sup>-3</sup>) en un sistema acuapónico, entonces con la densidad de 300 alevines m<sup>-3</sup> de *O. niloticus* (línea chitralada), se lograría un mejor crecimiento de las plantas de *L. sativa*.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Localización del experimento:

Se desarrolló en el Laboratorio de Acuicultura Continental y Nutrición de los Organismos Acuáticos de la Escuela Profesional de Biología en Acuicultura, Universidad Nacional del Santa, Urb. Bellamar S/N, distrito de Nuevo Chimbote, provincia del Santa, región Ancash, Perú.

### 2.2. Material experimental

#### 2.2.1. Población

La población de peces estuvo constituida por alevines de *O. niloticus* (línea chitralada) (Anexo 1), procedentes de la empresa “El Gran Paso” ubicada en Tarapoto (Perú).

Los peces fueron trasladados vía terrestre, por 12 horas en 3 bolsas plásticas dentro de una caja de cartón cada una, a una proporción de 1 a 3; se procedió a su acondicionamiento en tres tanques de agua con oxígeno, luego fueron distribuidos a los acuarios según los tratamientos.

Se adquirieron semillas de “lechuga” de una agrícola local del distrito de Chimbote (Ancash, Perú), las mismas que se sembraron en módulos plásticos con sustrato a base de compost a una composición de 1.7% de N, 0.87% de P, 2.5% de C, 1.3% de K, 0.98% de Mg, 0.17% de Na, a un pH de 7.4, porosidad y retención de agua buena para su germinación y crecimiento durante tres semanas aproximadamente, una vez que las plantas contaron con 4 hojas fueron traspasadas al sistema acuapónico.

#### 2.2.2. Muestra

Los peces se seleccionaron mediante la prueba de normalidad, obteniendo un total de 250 peces entre  $3.5 \pm 0.5$  cm a un peso de  $1.25 \pm 0.25$  g distribuyéndose al azar en los diferentes tratamientos ya establecidos.

Las plantas de lechuga seleccionada fueron de la variedad escarola de 25 días de germinación a una proporción de 200 plantas por almácigo.

### **2.3. Acondicionamiento de las unidades experimentales**

La unidad experimental estuvo diseñada básicamente por el sistema NFT, constituido por 12 acuarios de 80 litros cada uno, distribuidos según los tratamientos a una densidad de 20, 25 y 30 alevines por acuario y un tratamiento control sin peces.

Los sistemas de cultivo contaron con un filtro a base de esponjas para retirar el sedimento del fondo de los acuarios por “airlift” y controlados a base de llaves plásticas; el aire fue proporcionado por un blower de ½ HP, cuya distribución fue regulada diariamente, de tal manera que proporcionó un flujo de agua para el sistema de cultivo de aproximadamente 1 L/min.

El módulo de cultivo de “lechugas” se construyó a base de tubería PVC de 2” de diámetro con 50 cm de ancho por 60 cm de largo unidos por codos de PVC de 2” de diámetro; cada módulo contaba con 8 agujeros con una separación aproximada de 25 cm y se colocó una canastilla con una plántula en cada agujero, en total 8 plántulas por módulo.

Todos los tratamientos contaron con esponjas difusoras de oxígeno.

Todos los tratamientos fueron iluminados con fluorescentes de 40 watts. Iluminancia: 1000 lux un total de 12 fluorescentes, uno por acuario a una distancia de 40 cm de las plantas.

### **2.4. Fertilizantes para el grupo control**

Los fertilizantes para el grupo control fueron obtenidos de la Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Agraria y llevados al Laboratorio de Acuicultura Continental de la Universidad Nacional del Santa.

El agua de cultivo se preparó añadiendo 5 mL de la solución concentrada A y 2 mL de la solución concentrada B por litro de agua de cultivo. Se mantuvo al tratamiento control agregando 150 ml de solución A y 60 ml de solución B, en una proporción de 30 L de agua por acuario, con un pH de 5.4.

## **2.5. Dieta para los alevines de *O. niloticus***

El alimento comercial que se dio a los peces fué distribuido de acuerdo a la biomasa de los tratamientos a razón del 10 % de su peso, el alimento se les suministroo 3 veces al día, a las 8, 13 y 18 horas.

## **2.6. Registro biométrico de los peces y plantas**

El registro biométrico de los peces y plantas se realizó al inicio del tratamiento y posteriormente cada 15 días, en las plantas se midieron peso y talla y en los peces solo se midió peso. Se sedó a los peces y peso individualmente con una balanza de digital de ( $\pm 0.001$ g) de sensibilidad, luego se colocó a los peces en otro recipiente con abundante agua para que se recuperaran, esto se hizo así con cada tratamiento.

Las plantas se pesaron en una balanza digital de ( $\pm 0.001$ g) de sensibilidad, se retiraron las plantas de los tratamientos y se pesaron en sus respectivos recipientes, luego se le resto el peso del recipiente obteniendo el peso de la planta, luego se contó el número de hojas y se midió el largo, el ancho de las hojas y altura de la planta, así respectivamente con cada tratamiento.

## **2.7. Registro de los parámetros físicos y químicos del agua**

Los parámetros fisicoquímicos se midieron antes de colocar las plantas y cada 15 días. La prueba de  $\text{NO}_3$  se midió a la entrada y a la salida del agua;  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Gh, Kh, Ca, T y  $\text{O}_2$  se midieron por las mañanas antes de alimentar a los peces. La temperatura y el oxígeno disuelto se registraron con un oxímetro digital YSI  $55 \pm 0.01 \text{ mg/L}^{-1}$  de sensibilidad. El pH fue medido con un pH-metro digital Hanna con 0.01 de sensibilidad.

## **2.8. Tratamiento estadístico de los datos colectados**

Los datos de incremento en biomasa, talla, peso y supervivencia de “tilapia” y “lechuga”, y parámetros físico-químicos del agua, fueron sometidos al análisis de varianza y a la prueba de Duncan, para ambos casos con un nivel de confianza de 95 %, para determinar la significancia entre sus promedios. El proceso estadístico se realizó utilizando los programas Microsoft Excel y SPSS 20.0.

### **2.9. Costos de producción de *L. sativa***

Los costos de producción fueron autofinanciados, manejado materiales de oficina con costos de 70 S/; Materiales diversos que se usaron para los análisis de los parámetros físico, siendo los más costos con un total de 1980 S/; En los materiales biológico como los organismos de *O. niloticus* y las semillas de *L. sativa*, costando 560 S/.

Se manejaron otros gastos como transporte, materiales de acondicionamiento y servicios, los cuales en conjunto suman un monto de 3475 S/. El monto general alcanzado en todo el proyecto fue de 6085 S/.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. *L. sativa* “lechuga”

Los valores iniciales de peso, talla, biomasa, longitud de hoja y diámetro de hoja de *L. sativa* fueron registrados al inicio del experimento. Se observa que los datos fueron homogéneos para lo cual se aplicó el test de normalidad.

Tabla 1. Peso, talla, biomasa, longitud de la hoja (LH) y diámetro de la hoja (DH) de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades.

Trat.	Crecimiento de lechugas	Tiempo (días)			
		0	20	40	60
C Sin peces	Peso (g)	0,78±0,01 <sup>a</sup>	-	-	-
	Biomasa (g)	6,23±0,11 <sup>a</sup>			
	Tamaño (cm)	6,02±0,32 <sup>a</sup>	-	-	-
	LH (cm)	3,22±0,26 <sup>a</sup>	-	-	-
	DH (cm)	2,46±0,14 <sup>a</sup>	-	-	-
T1 200 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,79±0,00 <sup>a</sup>	3,90±0,09 <sup>a</sup>	4,15±0,17 <sup>a</sup>	1,87±0,35 <sup>b</sup>
	Biomasa (g)	6,30±0,0 <sup>a</sup>	31,23±0,78 <sup>a</sup>	31,87±3,36 <sup>a</sup>	14,43±3,28 <sup>a</sup>
	Tamaño (cm)	6,08±0,29 <sup>a</sup>	10,02±0,47 <sup>a</sup>	13,40±1,67 <sup>a</sup>	18,80±3,31 <sup>a</sup>
	LH (cm)	3,35±0,16 <sup>a</sup>	3,81±0,20 <sup>a</sup>	4,47±0,27 <sup>a</sup>	5,17±0,25 <sup>a</sup>
	DH (cm)	2,38±0,11 <sup>a</sup>	2,89±0,20 <sup>a</sup>	2,93±0,11 <sup>a</sup>	2,55±0,21 <sup>a</sup>
T2 250 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,79±0,00 <sup>a</sup>	4,17±0,23 <sup>a</sup>	4,33±0,10 <sup>a</sup>	1,62±0,28 <sup>b</sup>
	Biomasa (g)	6,33±0,06 <sup>a</sup>	31,93±1,73 <sup>a</sup>	30,37±0,70 <sup>a</sup>	9,43±3,63 <sup>a</sup>
	Tamaño (cm)	6,52±0,24 <sup>a</sup>	13,25±2,06 <sup>a</sup>	14,60±1,08 <sup>a</sup>	16,41±3,48 <sup>a</sup>
	LH (cm)	3,30±0,07 <sup>a</sup>	3,95±0,24 <sup>a</sup>	4,78±0,13 <sup>a</sup>	5,0±0,57 <sup>a</sup>
	DH (cm)	2,67±0,06 <sup>a</sup>	2,95±0,20 <sup>a</sup>	3,10±0,19 <sup>a</sup>	2,51±0,11 <sup>a</sup>
T3 300 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,79±0,00 <sup>a</sup>	3,90±0,16 <sup>a</sup>	4,15±0,21 <sup>a</sup>	2,67±0,53 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	6,30±0,00 <sup>a</sup>	28,57±2,05 <sup>a</sup>	29,07±1,47 <sup>a</sup>	17,13±6,27 <sup>a</sup>
	Tamaño (cm)	6,52±0,24 <sup>a</sup>	10,43±1,29 <sup>a</sup>	13,20±0,43 <sup>a</sup>	20,65±1,45 <sup>a</sup>
	LH (cm)	3,27±0,51 <sup>a</sup>	3,86±0,04 <sup>a</sup>	4,50±0,12 <sup>a</sup>	6,02±0,55 <sup>a</sup>
	DH (cm)	2,70±0,01 <sup>a</sup>	2,95±0,13 <sup>a</sup>	3,05±0,03 <sup>a</sup>	3,02±0,40 <sup>a</sup>

Los valores se presentan como las medias ± desviación estándar (n=3).

Valores con la misma letra en la misma fila, indican que no existen diferencias significativas (p>0.05) para la prueba de Tukey.

Antes del primer muestreo los plantines de *L. sativa* del grupo control se marchitaron y murieron en un 100% por lo que no se pudo seguir muestreando. Hasta los 40 días de cultivo todos los tratamientos de *L. sativa* tuvieron un crecimiento constante pero sin obtener diferencias significativas ( $p>0.05$ ). A los 60 días todos los tratamientos decayeron observándose mayores crecimientos en peso en el tratamiento de 300 peces  $m^{-3}$ . Al día 40 la biomasa no presenta diferencias significativas ( $p>0.05$ ), decayendo posteriormente hasta el día 60 pero manteniéndose sin presentar diferencias significativas ( $p>0.05$ ).

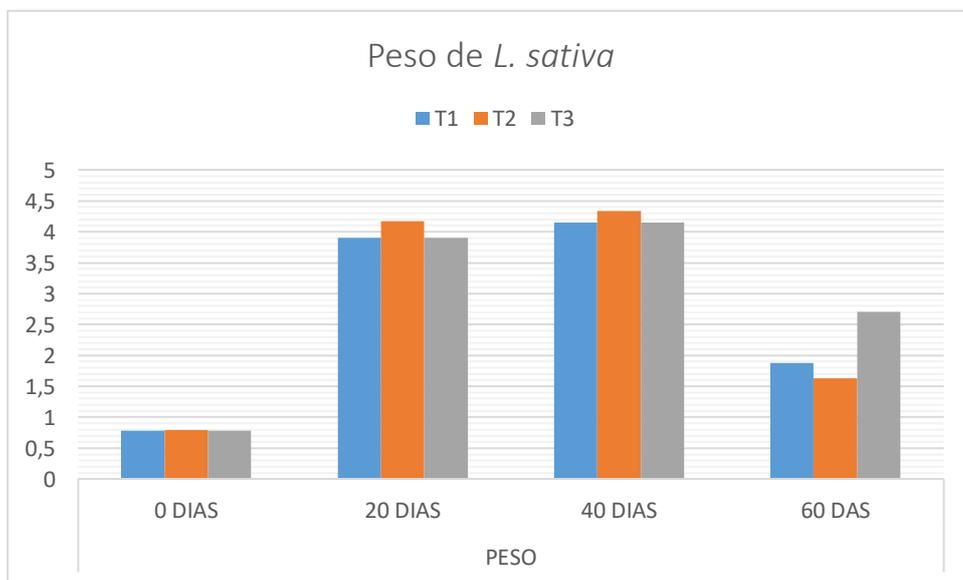


Figura 1. Crecimiento de *L. sativa* en peso durante el experimento para los tres tratamientos. El mayor peso se observa en el tratamiento 2 hasta los 40 días, posteriormente decayeron observándose un mayor peso en el tratamiento 3 hacia el final de los 60 días.

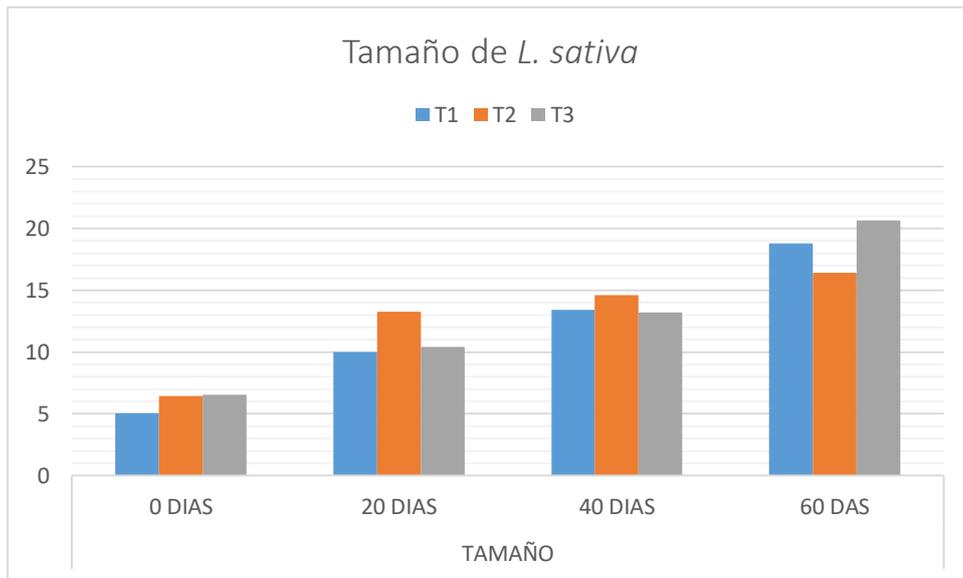


Figura 2. Crecimiento de *L. sativa* en tamaño de las plantas durante el experimento para los tres tratamientos.

El mayor tamaño se observa en el tratamiento 3 al final de los 60 días.

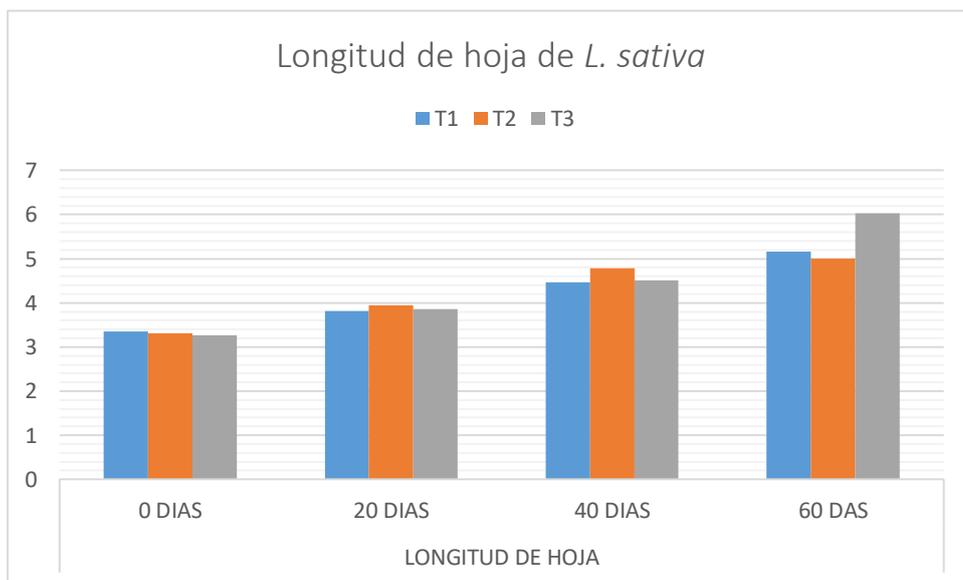


Figura 3. Crecimiento de *L. sativa* en longitud de hoja durante el experimento para los tres tratamientos.

La mayor longitud de hoja se observa en el tratamiento 3 al final de los 60 días.

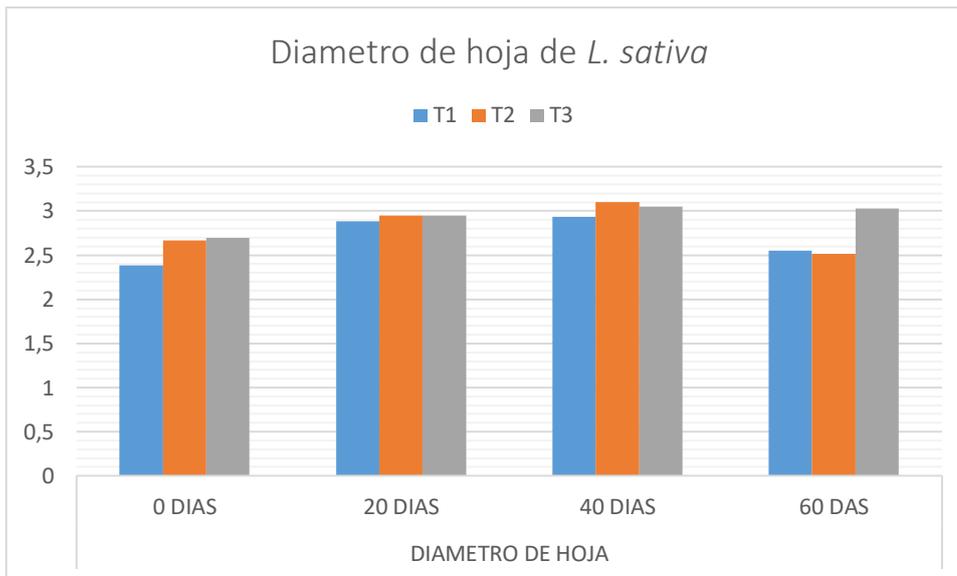


Figura 4. Crecimiento de *L. sativa* en diámetro de hoja durante el experimento para los tres tratamientos.

El mayor diámetro de hoja se observa a los 40 días en el tratamiento 2; posteriormente los tratamientos decayeron observándose un mayor diámetro de hoja en el tratamiento 3 al final de los 60 días.

Tabla 2. Tasa de crecimiento de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades.

Crecimiento de <i>L. sativa</i>	T1 200 peces m <sup>-3</sup>	T2 250 peces m <sup>-3</sup>	T3 300 peces m <sup>-3</sup>
TC Peso (g/día)	0,084±0,004 <sup>a</sup>	0,088±0,002 <sup>a</sup>	0,082±0,004 <sup>a</sup>
TC Talla (cm/día)	0,184±0,050 <sup>a</sup>	0,203±0,026 <sup>a</sup>	0,166±0,010 <sup>a</sup>
TC LH (cm/día)	0,028±0,004 <sup>a</sup>	0,036±0,002 <sup>a</sup>	0,030±0,004 <sup>a</sup>
TC DH (cm/día)	0,013±0,004 <sup>a</sup>	0,010±0,005 <sup>a</sup>	0,008±0,000 <sup>a</sup>
TCE Peso (%/día)	4,147±0,102 <sup>a</sup>	4,245±0,073 <sup>a</sup>	4,144±0,128 <sup>a</sup>
TCE Talla (%/día)	1,963±0,428 <sup>a</sup>	2,041±0,179 <sup>a</sup>	1,759±0,097 <sup>a</sup>
TCE LH (%/día)	0,721±0,075 <sup>b</sup>	0,922±0,045 <sup>a</sup>	0,796±0,104 <sup>ab</sup>
TCEDH (%/día)	0,522±0,166 <sup>a</sup>	0,378±0,169 <sup>a</sup>	0,307±0,020 <sup>a</sup>

Valores con letra distinta en la misma fila, indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la prueba de Tukey. TC: tasa de crecimiento, TCE: tasa de crecimiento específico.

Solo se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el parámetro tasa de crecimiento en peso (g/día) para los tres tratamientos empleados y de entre ellos el tratamiento de 300 peces m<sup>-3</sup> es mayor.

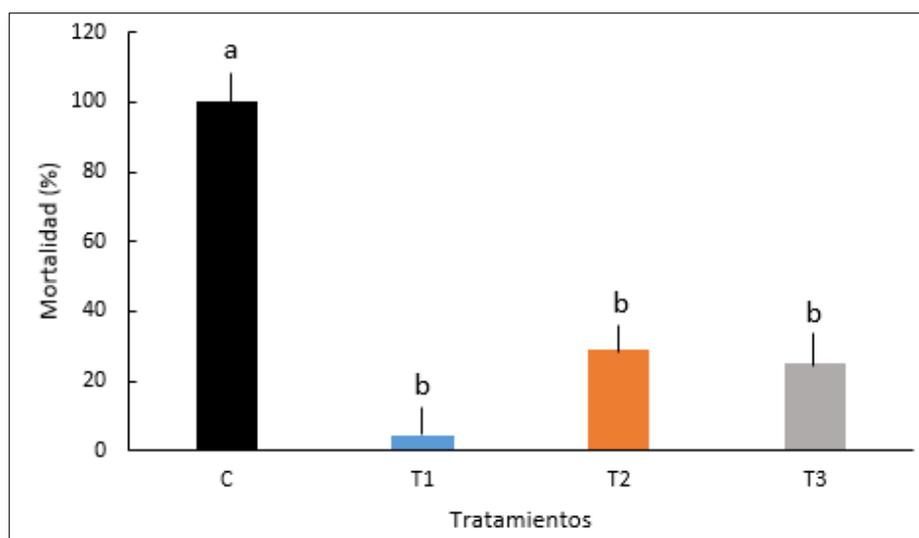


Figura 5. Mortalidad media (n=3) de *L. sativa* durante el experimento. Valores con la misma letra, indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) para la prueba de Tukey.

El tratamiento control sufrió mortalidad total a la primera semana de cultivo. No se observó diferencias significativas en la mortalidad entre los tratamientos experimentales.

### 3.2. Cultivo de Peces

Tabla 3. Crecimiento y mortalidad de *O. niloticus* durante 60 días bajo diferentes densidades de producción, en cultivo acuaponico.

Trat.	Crecimiento de peces	Tiempo (días)			
		0	20	40	60
T1 200 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,36±0,01 <sup>a</sup>	2,11±0,61 <sup>a</sup>	3,34±0,99 <sup>a</sup>	4,26±1,10 <sup>a</sup>
	Ganancia peso (g)		0,24±0,03 <sup>a</sup>	1,76±0,61 <sup>a</sup>	3,90±1,10 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	7,17±0,15	12,13±0,49 <sup>c</sup>	39,87±9,44 <sup>b</sup>	64,33±10,97 <sup>b</sup>
	Mortalidad				23,33±7,63 <sup>a</sup>
T2 250 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,37±0,01 <sup>a</sup>	1,67±0,20 <sup>a</sup>	2,36±0,29 <sup>a</sup>	3,40±0,38 <sup>a</sup>
	Ganancia peso (g)		0,20±0,00 <sup>b</sup>	1,30±0,20 <sup>a</sup>	3,03±0,36 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	9,30±0,26	14,20±0,20 <sup>b</sup>	39,07±4,45 <sup>b</sup>	68,87±5,32 <sup>b</sup>
	Mortalidad				18,66±8,32 <sup>a</sup>
T3 300 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,38±0,00 <sup>a</sup>	2,06±0,20 <sup>a</sup>	2,94±0,30 <sup>a</sup>	3,87±0,26 <sup>a</sup>
	Ganancia peso (g)		0,16±0,00 <sup>b</sup>	1,68±0,20 <sup>a</sup>	3,48±0,26 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	11,43±0,06	16,37±0,15 <sup>a</sup>	58,40±3,40 <sup>c</sup>	94,27±7,73 <sup>c</sup>
	Mortalidad				18,88±3,85 <sup>a</sup>

Los valores se presentan como las medias ± desviación estándar (n=3). Valores con la misma letra en la columna, indican que no existen diferencias significativas (p>0.05) para la prueba de Tukey.

No se encontró diferencias significativas (p>0.05) en cuanto al peso promedio, ganancia en peso y mortalidad entre los tratamientos. En cuanto a la biomasa a partir del día 20 se observa diferencias significativas en el tratamiento de mayor densidad (300 peces m<sup>-3</sup>), hasta el final del cultivo.

### 3.3. Flujo de agua

Tabla 4. Flujo de agua en el crecimiento de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades.

Tratamientos		Flujo de agua
TC Sin peces m <sup>-3</sup>	TCR1	1 L/min
	TCR2	900 mL/min
	TCR3	1.200 L/min
T1 200 peces m <sup>-3</sup>	T1R1	1.100 L/min
	T1R2	1.150 L/min
	T1R3	1 L/min
T2 250 peces m <sup>-3</sup>	T2R1	1 L/min
	T2R2	1 L/min
	T2R3	1 L/min
T3 300 peces m <sup>-3</sup>	T3R1	1.050 L/min
	T3R2	1 L/min
	T3R3	1 L/min

Valores de flujo de agua en el crecimiento de *L. sativa* en un sistema acuaponico utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*.

Los valores de flujo de agua no pasan los 2 L/min para todos los tratamientos. Solo en el tratamiento control se observa que en una de sus repeticiones el flujo de agua es menos de 1 L/min. Los tratamientos de 200 peces m<sup>-3</sup>, de 250 peces m<sup>-3</sup> y de 300 peces m<sup>-3</sup> muestran flujos iguales o superiores a 1L/min.

### 3.4. Calidad de agua

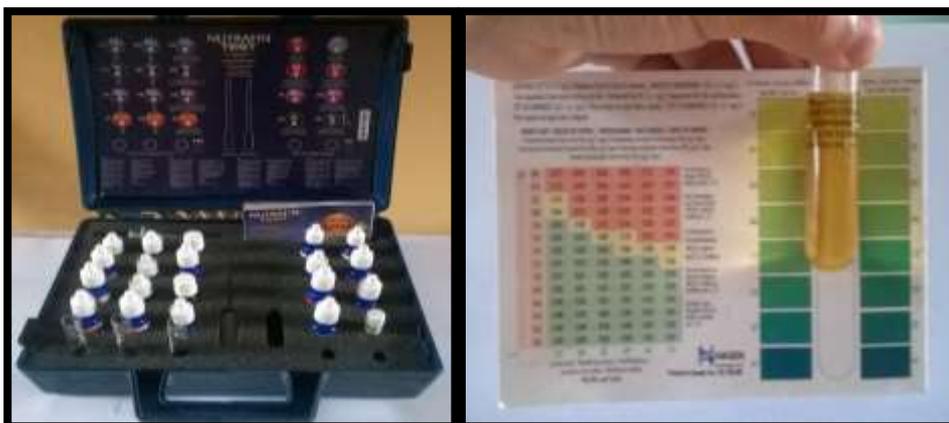


Figura 6. Comportamiento de los parámetros físico químicos en el crecimiento de *L. sativa* “lechuga” en el sistema acuaponico utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos durante la investigación, los valores de temperatura del agua del tratamiento T1 oscilaron entre 23.33 a 24C°, y para el T2 y T3 los valores oscilaron entre 23.66 a 24C°. Los valores pH presentaron oscilaciones entre 7.94 a 8 para el T1; 7.93 a 7.97 para el T2 y 7.96 a 8 para T3.

Los niveles de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en el agua de entrada de todos los tratamientos fueron similares y no se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los mismos; solo en el tratamiento T1 a los 60 días los niveles de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) se encuentran en  $110 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de entrada y en  $50 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de salida del sistema; en el tratamiento T2 a los 21 días los niveles de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) se encuentran en  $50 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de salida del sistema, así como también no se encontraron diferencias significativas para los niveles de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) con valores de  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$  en todos los tratamientos, calcio (Ca) con valores que oscilan entre  $60 \text{ mg/L}^{-1}$  a  $100 \text{ mg/L}^{-1}$  y Dureza carbonatada con valores que oscilan entre  $64 \text{ mg/L}^{-1}$  a  $100 \text{ mg/L}^{-1}$  (Tabla 5).

Se encontró diferencias significativas en las concentraciones de nitrito ( $\text{NO}_2$ ), donde las concentraciones a los 21 días de cultivo de los tratamientos T2 con  $0.8 \text{ mg/L}^{-1}$  y T3 con  $0.8 \text{ mg/L}^{-1}$ , fueron significativamente superiores ( $p<0.05$ ) frente a la concentración del T1 con  $0.3 \text{ mg/L}^{-1}$  (Tabla 5). Del mismo modo los niveles de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) de los tratamientos T2 con  $0.5 \text{ mg/L}^{-1}$  y T3 con  $0.5 \text{ mg/L}^{-1}$ , fueron significativamente superiores a la concentración del T1 con  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ . Y finalmente

las concentraciones de Dureza total en los tratamientos T2 y T3 en los días 0, 21 y 60, fueron significativamente superiores ( $p < 0.05$ ) a la concentración de T1.

Tabla 5. Concentraciones de nutrientes (mg/L<sup>-1</sup>), oxígeno (mg/L<sup>-1</sup>), pH y temperatura (°C) en la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades de producción. C: Control; T1: 200 alevines m<sup>-3</sup>; T2: 250 alevines m<sup>-3</sup>; T3: 300 alevines m<sup>-3</sup>. Los valores se presentan como las medias ± desviación estándar (n=3). E: entrada y S: salida.

Trat.	Días	O <sub>2</sub>	pH	T	NO <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Ca	Dureza carbonatada	Dureza general
					E	S						
1	0	5,71±0,18 <sup>a</sup>	7,97± 0,03 <sup>a</sup>	23,33±0,57 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	3,30± 0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	60,0±0,0 <sup>a</sup>	70,0± 0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>b</sup>
	21	5,27±0,12 <sup>a</sup>	7,94±0,06 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0± 0,0 <sup>a</sup>	0,3±0,0 <sup>b</sup>	0,1± 0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>b</sup>	60,0± 0,0 <sup>a</sup>	71,0± 1,0 <sup>a</sup>	91,0±1,00 <sup>b</sup>
	60	4,61±0,14 <sup>a</sup>	8,0±0,0 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	50,0±0,0 <sup>b</sup>	0,47±0,29 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	2,0±0,0 <sup>a</sup>	60,0±0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	107,0±6,08 <sup>b</sup>
2	0	5,62±0,12 <sup>a</sup>	7,97± 0,02 <sup>a</sup>	23,66±0,57 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	3,30±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	90,0±0,0 <sup>a</sup>	120,0±0,0 <sup>a</sup>
	21	5,33±0,05 <sup>a</sup>	7,97±0,03 <sup>a</sup>	23,67±0,57 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	50,0±0,0 <sup>b</sup>	0,8±0,00 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,5± 0,0 <sup>a</sup>	100,0± 0,0 <sup>a</sup>	91,0±1,0 <sup>a</sup>	121,0±1,0 <sup>a</sup>
	60	4,52±0,03 <sup>a</sup>	7,93±0,11 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0± 0,0 <sup>a</sup>	0,63±0,29 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	2,5± 0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0± 0,0 <sup>a</sup>	121,0±1,0 <sup>a</sup>
3	0	5,69±0,14 <sup>a</sup>	7,96±0,01 <sup>a</sup>	23,66±0,57 <sup>a</sup>	70±34,64 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	3,30±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	90,0±0,0 <sup>a</sup>	120,0±0,0 <sup>a</sup>
	21	5,24±0,06 <sup>a</sup>	7,96±0,01 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0±0,0 <sup>a</sup>	0,8±0,0 <sup>a</sup>	0,1± 0,0 <sup>a</sup>	0,5± 0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	64,0±0,0 <sup>a</sup>	114,33± 6,6 <sup>a</sup>
	60	4,35±0,12 <sup>a</sup>	8,0±0,0 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0±0,0 <sup>a</sup>	0,47±0,29 <sup>a</sup>	0,1± 0,0 <sup>a</sup>	3,33± 1,44 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	124,0±1,0 <sup>a</sup>

Valores con la misma letra en la columna, indican que no existen diferencias significativas ( $p>0.05$ ) para la prueba de Tukey. El análisis estadístico se realizó comparando los resultados entre tratamientos y de manera independiente según los días de cultivo. Por ejemplo se comparó la temperatura del tratamiento 1 del día cero con las temperaturas de los tratamientos 2 y 3, y del mismo día (cero).

### 3.5. Costos de Producción:

Tabla 6. Gastos determinados en la producción de *L. sativa*, indicando los materiales y servicios que se usaron.

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
<b>PAPELERA EN GENERAL, ÚTILES Y MATERIALES DE OFICINA</b> ✓ Papel bond, lápices, impresión	70.00
<b>OTROS MATERIALES DIVERSOS</b> ✓ Termómetro, oxímetro, pH metro, luxómetro	1980.00
<b>MATERIAL BIOLÓGICO</b> ✓ Tilapia nilotica , lechuga, alimento para peces	560.00
<b>OTROS GASTOS</b> ✓ Transporte	65.00
<b>MATERIALES DE ACONDICIONAMIENTO</b> ✓ Mangueras, llaves, piedras difusoras, tuberías, codos, ✓ filtros ✓ blower	1300.00 220 1500.00
<b>SERVICIOS</b> ✓ Internet ✓ Impresión, encuadernado y empastado	90.00 300.00
<b>Total</b>	<b>6085</b>

#### IV. DISCUSIÓN

En un cultivo acuapónico es muy importante el flujo de agua que pase por el sistema. Carrasco & Izquierdo (1996) recomiendan, que para el logro del sistema la bomba debe ser capaz de impulsar eficientemente un caudal de 2 a 3 L/min, caudal que no fue logrado durante el estudio (Tabla 3) y que planteamos influyo en el sistema; dichos autores afirman que durante el período de crecimiento del cultivo, el flujo de la solución puede aumentarse, para favorecer el contacto íntimo de la solución con las raíces, esto se ve reflejado al observar que los tres tratamientos tuvieron un crecimiento constante hasta el día 40 del experimento (Tabla 1) y al día 60 se observó un colapso en el sistema, donde los parámetros de crecimiento de *L. sativa* disminuyeron.

Igual experiencia puede ser aplicable al tratamiento control, que si bien fue un cultivo hidropónico, al no tener una mayor circulación de agua con nutrientes químicos, no fue suficiente y previo a una marchitación total de las plantas estas murieron totalmente antes de los 20 días de experimentación; por una mala circulación de agua con nutrientes, observándose los clásicos síntomas de plantas con deficiencia de nutrientes, como el color amarillento de sus hojas. Ramírez *et.al.* (2009) menciona que los síntomas como amarillamiento resultan por deficiencia de nitrógeno, boro, hierro y magnesio.

Por otro lado durante la experiencia con respecto al tratamiento control se podría decir que el mayor problema que sufrió este tratamiento fue debido a que la bomba que fue utilizada no permitía un movimiento constante del agua, muy importante para que los nutrientes se mantengan suspendidos y puedan ser absorbidos por las plantas. Ramírez *et.al.* (2009) recomienda un constante movimiento del agua para una buena aireación y suspensión de nutrientes.

El cultivo de *L. sativa* a los 60 días, si bien por las causas explicadas decayó, se observó que el tratamiento de 300 peces/m<sup>3</sup> dio mejores resultados ( $P < 0.05$ ). Esto puede ser debido al aporte de nutrientes dado por la mayor densidad de peces utilizados, que al producir en mayor concentración permite a este tratamiento mayores resultados dentro de la disminución observada.

Se hace notar que la falta de mayor circulación de agua en el sistema interfirió para la obtención de nutrientes y oxígeno por parte de la planta que hubiera permitido la obtención de mejores resultados de crecimiento de *L. sativa*, demostrados en otros experimentos con mejores resultados como lo encontrados por Moreno & Zafra (2014) en tilapia roja *Oreochromis* sp con resultados de 9.6 cm y 0.15 cm/día de longitud de hoja con tratamientos de 50 peces juveniles  $m^{-3}$ , a un caudal de 2.4 L/min y 8 L/min no encontrándose diferencias significativas entre ellas, pero si resultando superiores a nuestros datos; así como también por lo reportado por Cáceres (2013) que obtuvo, en el mismo tiempo de cultivo y con tratamientos de 63 peces juveniles  $m^{-3}$ , un crecimiento en longitud de hoja de 19.76 cm., muy diferentes a nuestros resultados los cuales fueron inferiores, pero entre ellos encontramos que el tratamiento de 300 peces  $m^{-3}$  fue significativamente superior con resultados de 6.02 cm frente a los resultados de longitud de la hoja de los tratamientos de 200 peces  $m^{-3}$  de 5.17cm y 250 peces  $m^{-3}$  de 5 cm.

En cuanto al peso promedio final de todos los grupos experimentales de lechuga, fue menor al compararlo con otros trabajos. Garzón-López *et.al.* (2006) evaluaron tres variedades en un período de 36 días después del trasplante, obteniendo un peso promedio final de 167 gr para la variedad Paris, 72 gr para la variedad Vulcan y 52 gr para la variedad Verónica, además se les adicionó una solución nutritiva que aportó los nutrientes que requiere la planta y sirve como fertilizante, mientras que en el presente estudio, los pesos de los tratamientos se mantuvieron constantes siendo significativamente iguales hasta los 40 días, pero resultando superior el tratamiento de 250 peces  $m^{-3}$  con un peso de 4.33 gr para este tratamiento, muy diferentes para el tratamiento de 200 peces  $m^{-3}$  con 4.15 g y 300 peces  $m^{-3}$  con 4.15 gr, además no se le adicionó otros tipos de nutrientes a las plantas. Rakocy, JE. (1988) menciona que el alimento suministrado a los peces puede contener 10 de los 13 nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Los nutrientes que requieren suplementación son K, Ca y Fe. Y son suministrados en forma de KOH, Ca (OH) y quelato de hierro (10%), el Ca y K actúan como reguladores del pH.

El crecimiento de las lechugas en el sistema acuaponico fue bajo comparado a otros estudios realizados, sin embargo esto se puede asociar al modelo de sistema NFT en especial al modelo de filtro por ser diferente a otros sistemas utilizados; esto pudo haber influido en la fijación de bacterias nitrificantes y como estos nutrientes llegaban a las

plantas, además la absorción de los nutrientes por las raíces de la lechuga se vio perjudicada por la materia orgánica acumulada en ellas. Por lo que se considera la unión de todos los tratamientos a un solo filtro de mayor capacidad, volumen y la inclusión de lechos múltiples para un mejor filtrado Castellán, G. (2015)

La mortalidad de la lechuga obtenida en el presente trabajo según se observa en la fig. 5, fue inferior comparado con lo reportado por Rubio (2012); pero fue superior por lo encontrado por Arriaza & Martínez (2009). Esto se atribuye a la poca absorción de nutrientes por parte de la planta, muy probable menor a 0.3 litros de solución diluida al día como lo reporta Carrasco & Izquierdo (1996).

Durante el crecimiento, las tilapias no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos, al final de los 60 días los resultados arrojaron para el (T1)  $4.26 \pm 1.10$ ; (T2)  $3.40 \pm 0.38$  y (T3)  $3.87 \pm 0.26$ ; aunque se observa un mayor crecimiento para el tratamiento de 200 peces  $m^{-3}$ , el tratamiento con mayor biomasa fue del tratamiento de 300 peces  $m^{-3}$ , aún así el crecimiento de las tilapias fue bajo comparado con el reportado por Rodríguez-Gonzales *et.al.* (2015) que obtuvo un crecimiento de  $6.41 \pm 1.7$  para SCB y  $5.72 \pm 1.3$  para SRA (sistema de biofiltración y recambio de agua) al cabo de 40 días, trabajando con valores de nitrato de  $4.92 \pm 1.9$  en la entrada y  $3.23 \pm 1.5$   $mg/L^{-1}$  salida en la producción acuapónica de lechuga y tilapia. Los resultados del bajo crecimiento para nuestro experimento se deberían a que las concentraciones de nitrato tanto en la entrada y salida de los acuarios estuvieron elevados (mayor a  $110$   $mg/L^{-1}$ ). Así mismo Bautista-Bautista-Covarrubias, J.C. & J.M. Velazco-Arce (2011), menciona que niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico por lo tanto es muy probable que este nutriente haya afectado el crecimiento de los peces. Sin embargo cabe resaltar que se realizó el recambio de agua oportuno para disminuir los niveles altos de nitritos a razón de 1/3 de agua.

Nuestros resultados también nos demuestran que las densidades de siembra empleadas en el experimento no afectaron significativamente el crecimiento ( $p > 0.05$ ). Por el contrario la mortalidad de los peces al inicio del experimento se vio afectado muy probablemente por el incremento de las concentraciones de nitritos mayores de  $1$   $mg/L^{-1}$ ; ya que se obtuvieron durante todo el experimento porcentajes de mortalidad elevados de

19 a 23% comparado con lo reportado por García-Ulloa *et.al.* (2004) en un sistema acuapónico de tilapia (*O. mossambicus*), en donde obtuvieron un 0% de mortalidad. Así también Cervantes-Santiago *et.al.* (2015) obtuvieron un 0% de mortalidad en un sistema acuaponico de tilapia *O. niloticus* con diversos vegetales. Mientras que Arriaza & Martínez (2009) obtuvieron un 14% en la producción hidropónica de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. En términos generales la mortalidad en los peces se mantuvo entre 19 y 23%. Sin embargo, es preciso resaltar que durante el experimento, la mortalidad de los peces también estuvo relacionada con el funcionamiento y acople de equipos utilizados en los sistemas (problemas de succión de peces por parte del sistema air life).

Cabe mencionar que las lechugas de hoja arrepollada denominadas "escarolas", utilizada en este experimento, cuando se cultivan en este tipo de sistema "NFT", se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. Carrasco & Izquierdo (1996) mencionan que la temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C, siendo que los valores registrados en cuanto a temperatura durante el experimento se encontraron entre 23.5 a 24 °C. Para las plantas de lechuga la temperatura óptima de germinación oscila entre 18 a 20°C, durante la fase de crecimiento el cultivo requiere de 14 a 18°C durante el día y 5 a 8°C durante la noche según Frias (2012). Por otro lado los rangos de temperatura óptima de este cultivo para los peces son de 22 a 26°C según Morales (1991). Somerville *et.al.* (2014) afirma que el rango de temperatura tanto para las bacterias como para las plantas y peces debe oscilar entre 17 a 30 °C.

Entre los parámetros más importantes en cultivos acuapónicos está el pH, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la nitrificación, encontrándose rangos entre 7.97 a 8.0, superando a lo mencionado por Somerville *et.al.* (2014), señalando que los valores de pH deben oscilar entre 6 y 7 ya que favorece la actividad biológica de las bacterias nitrificantes y su capacidad de convertir el amoníaco y el nitrito. Así también ha superado a lo encontrado por Cáceres (2013) cuyos valores se encuentran entre 6.1 a 6.3 (Sistema acuapónico con filtro) y 5.2 a 6 (Sistema acuapónico sin filtro). Y sobrepasa a lo recomendado por Nelson (2007) que indica un pH de 7 garantiza un funcionamiento correcto o Gilsanz, J, (2007) que menciona que entre los valores de pH

de 5.5-7, se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta.

Un factor importante es la luminosidad para la lechuga, a diferencia de otros estudios este ensayo se desarrolló a nivel de laboratorio, por tanto se utilizó luz artificial en todos los tratamientos y se trabajó con fluorescentes de 40 watts a una capacidad de 1000 lux, muy escasos para este tipo de plantas que necesitan de luz para desarrollar sus hojas y tallos. (Vásquez, J., 2015) Los niveles de iluminación óptimos para las plantas de lechuga son de 12000 a 30000 lux diarios; incluso Navarro, V. (2013) menciona que para la germinación de otras plantas como la *Solanum tuberosum* (papa) son necesarios 3 tubos de fluorescentes de 36 watts cada uno aportando valores de 2940 lux. Grazia, *et.al.* (2001), utilizó diferentes porcentajes de radiación, un 65% de sombra, un 35% de sombra y sin sombra, resultando en crecimiento en los tratamientos de 35% de sombra y sin sombra, pero en el tratamiento de 65% la tasa de crecimiento disminuyó independientemente de la concentración de nutrientes que se les agregó. Resultando en un factor importante para el bajo crecimiento de la plantas y los diferentes síntomas que presentaron como tallos alargados y sin color, hojas amarillentas y un crecimiento débil y lento.

Durante el experimento los valores de amoníaco en todos los tratamientos fueron similares, dando como valores de amoníaco  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$  en todos los tratamientos, según Candarle (2006), valores mayores de  $2 \text{ mg/L}^{-1}$  son tóxicos para los peces y para las colonias de bacterias; pero cuando su concentración es mayor de  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ , podría constituirse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales Covarrubias & Velazco (2011). Por otro lado los valores de nitritos se encontraron en 3.3 al inicial el experimento lo que denotaría una lenta nitrificación en el filtro, y la mortalidad de los peces al iniciar el experimento.

La dureza general no presento diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo valores de 90 a  $124 \text{ mg/L}^{-1}$  ( $\text{CaCO}_3$ ) siendo ligeramente dura, y manteniéndose estos valores constantes durante todo el experimento, resultando óptimos para el sistema, sin embargo el Fe, K y Ca derivado del alimento de los peces, son insuficientes para la producción hidropónica vegetal y deben suplementarse

adicionándolos al sistema Rakocy, *et.al.* (1998). Sin embargo si hubo diferencias significativas en la dureza carbonatada para los tratamientos de 250 alevines  $m^{-3}$  y 300 alevines  $m^{-3}$  siendo superiores al tratamiento de 200 alevines  $m^{-3}$ , según Candarle (2006) se considera apropiado mantener una concentración de entre 60-140  $mg/L^{-1}$   $CaCO_3$  para un sistema acuapónico y que está muy bien relacionado a una excelente capacidad tamponadora, sin embargo según Morales (2004) menciona que por encima de pH 7 el riesgo de precipitación de calcio y magnesio en forma de carbonatos, ( $CaCO_3$  y  $MgCO_3$ ), es muy alto. En resumen, en el rango de pH 5.0-6.5, la mayoría de los nutrientes está en forma directamente asimilable para las plantas, por encima de pH 6.5 la formación de precipitados puede causar problemas y por debajo de pH 5 puede verse deteriorado el sistema radical.

En los tratamiento de 250 alevines  $m^{-3}$  y 300 alevines  $m^{-3}$  las concentraciones de fosfato fueron significativamente superiores al tratamiento de 200 alevines  $m^{-3}$  a partir del día 21, este aumento se debió al incremento de alimento para los diferentes tratamientos, encontrando valores elevados de fosfatos en tratamientos donde hay mayor cantidad de organismos, además según Morales (2004) por encima de pH 6.5, la disponibilidad del fósforo y el calcio pueden decrecer considerablemente debido al predominio de la forma  $HPO_4$  (que forma precipitados insolubles en contacto con el calcio) sobre la forma  $H_2PO_4$  (que forma compuestos muy solubles con el calcio). Por tanto se pueden registrar valores altos de nutrientes pero que no pueden ser asimilados debido a pH altos.

Al inicio del trabajo el oxígeno en el tratamiento de 200 alevines  $m^3$  estuvo en  $5.71 \pm 0.18^a$ , 250 alevines  $m^3$   $5.62 \pm 0.12^a$  y 300 alevines  $m^3$   $5.69 \pm 0.14^a$ , descendiendo gradualmente y registrando valores de  $4 mg/L^{-1}$  al final del trabajo. Según Bautista-Covarrubias, J.C. & J.M. Velazco-Arce. (2011), para el cultivo de tilapia es recomendable que la cantidad de oxígeno no sea menor a 5 ppm. Y Chamorro *et.al.* (2016) recomienda una concentración igual o mayor a  $5 mg/L^{-1}$ , tanto para plantas como para peces, debido a que estos últimos lo necesitan para sobrevivir y crecer; también las raíces de las plantas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, ya que previene la pudrición de las raíces, al estar sumergidas durante el paso de ésta a través del sistema hidropónico. Por ello Morales,

V. (2004) recomienda caudales de más de 2 litros por minuto para una buena oferta de oxígeno, agua y nutrientes en las raíces de las plantas.

Los cultivos acuapónicos son importantes por tener una mayor producción por metro cuadrado de terreno de cultivo acuapónico que en un cultivo tradicional. Teniendo que en un cultivo acuapónico se produce un 100% más de biomasa a comparación del cultivo tradicional. Con respecto a los cultivos tradicionales han producido mayores ingresos debido al ahorro de fertilizantes, tierras de cultivo, plaguicidas, agua y por obtener dos ingresos por plantas y peces. Así mismo permite el control de plagas por el uso de métodos de control natural con el fin de no contaminar las hortalizas ni variar sus nutrientes, esto iría de la mano con la conservación del medio ambiente.

## V. CONCLUSIONES

- La producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluente del cultivo de *O. niloticus* a 200, 250 y 300 peces m<sup>-3</sup> no presento diferencias significativas entre los tratamientos para longitud, talla y diámetro de la hoja en *L. sativa*.
- La tasa de crecimiento (TC) y tasa específica de crecimiento (TEC), no se encontró diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos de *L. sativa* pero si en el parámetro peso de *L. sativa* en el tratamiento de 300 peces m<sup>-3</sup>
- La producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluente del cultivo de *O. niloticus* a 200, 250 y 300 peces m<sup>-3</sup> no presento diferencias significativas entre los tratamientos para la biomasa en *L. sativa*.
- No se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en los porcentajes de mortalidad de *L. sativa* entre los tratamientos.
- En el tratamiento de 300 peces m<sup>-3</sup> se obtuvo la mayor biomasa de *O. niloticus* (94.27g) en relación a los tratamientos de 250 peces m<sup>-3</sup> (68.87g) y de 200 peces m<sup>-3</sup> (64.33g), existiendo diferencia significativa entre estos ( $p>0.05$ ).
- No se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en los porcentajes de mortalidad de alevines de *O. niloticus* entre los tratamientos.
- Los valores de temperatura se encontraron entre 23.5 a 24 °C necesitando las plantas de *L. sativa* (lechuga) temperaturas de 14 a 18°C en etapa de crecimiento y en el caso de los peces y bacterias necesitan temperaturas entre 17 a 30 °C.
- Los valores de pH se encontraron entre 7.97 a 8, necesitando las plantas de *L. sativa* (lechuga) valores de 5.5 a 7 para una mayor disponibilidad de nutrientes.
- Las concentraciones de oxígeno se encontraron entre 4 y 5 mg/L<sup>-1</sup> necesitando las lechugas y los peces valores mayores a 5 mg/L<sup>-1</sup> debido a que estos últimos lo necesitan para crecer y sobrevivir.

- Las concentraciones de nitratos se encontraron entre  $110 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de entrada al sistema y entre  $50$  a  $110 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de salida, necesitando los peces valores no mayores a  $80 \text{ ppm}$  para su crecimiento.
- Las concentraciones de nitritos en el día 0 se encontraron entre  $3.3 \text{ mg/L}^{-1}$ , necesitando los peces valores no mayores a  $1 \text{ mg/L}^{-1}$  por ser toxico.
- Las concentraciones de amoniaco se encontraron en  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$  en todos los tratamientos necesitando los peces valores no mayores a  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ . por ser toxico para ellos y para las colonias de bacterias.
- Las concentraciones de fosfato al día 0 se encontraron en  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ , elevándose en los tratamientos de  $250$  y  $300 \text{ peces m}^{-3}$ , debido a la elevada concentración de nutrientes en estos tratamientos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las variaciones de parámetros de crecimiento en las diferentes clases de lechuga y en otras especies de plantas de rápido crecimiento con la finalidad de establecer sus mejores metodologías de cultivo
- Evaluar tratamientos similares al aire libre y realizar comparaciones con los tratamientos en laboratorio para medir costos y beneficios en estos cultivos.
- Es importante utilizar luz artificial como luces LED, que a pesar de sus costos no produce altas temperaturas y también es utilizado para el crecimiento de plantas en sistemas acuapónicos a nivel de laboratorio.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera-Morales, M.E., F. Hernández, Mendieta, E & C. Herrera. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. Vol. 8. México, Sinaloa. Pp 71-74.
- Alder, P., S, Summerfelt; Glenn, D. & F, Takeda. 2003. Mechanistic approach top hy tore mediation of wate. 20:251-264p.
- Alpizar-Antillon, L. 2008. Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 108p.
- Arriaza & Martínez. 2009. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Informe de Tesis de Título Ingeniero Agropecuario. Zamorano, Honduras. 27 p.
- Bautista-Covarrubias, J.C. & J.M. Velazco-Arce. 2011. Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. Revista Fuente Año 3 No. 8: 10-14p.
- Buzby, K.M. & L. Lin. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*. 63:39-44p.
- Cáceres, D.I. 2013. Efecto del agua residual del cultivo de *Oreochromis niloticus* “tilapia” sobre el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico continuo. Informe de Tesis de Título Profesional de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 27p.
- Candarle, P. 2006. Técnicas de acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura. Pp 14-20.
- Cantor, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, México. 140p.

- Carrasco, D, & Izquierdo. 1996. La empresa hídronica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Talca, Chile. Pp 14-20.
- Cássteres, E. 1984. Producción de hortalizas. 3a. edic 2da. reimp. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 387p.
- Castelán, G. 2015. Inhibición de bacterias oxidantes de nitritos en biopelícula de biofiltro para tratamiento de aguas residuales. México. Pp 9-10.
- Cervantes-Santiago. 2015. Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados del cultivo de tilapia en un sistema acuapónico. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 3(7):63-73. Vol. 3. Veracruz, México.
- Chamorro-Legarda, E., C, Guerrero-Romero. & Arellano, E. 2016. Producción de lechuga y Arawana amazónica en sistema acuapónico. Colombia. pp 37-41.
- CICESE. 2008. Producción integral sustentable de alimentos. Sinaloa, México. 71 –74p.
- FAO. 2013. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y La Alimentación. Roma, Italia. 251p.
- Frías, M. 2012. Propagación y técnicas de cultivo de la Lechuga (*Lactuca sativa*)". Guanajuato, México. pp 2.
- Galli, M. & F.M. Sal. 2007. Sistema de recirculación y tratamiento de agua. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos-CENADAC. Corrientes, Argentina. 37p.
- García-Ulloa. 2004. Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. Avances en investigación agropecuaria. Pp 1-5.

- Garzón-López. 2006. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes. Tesis de Licenciatura. Universidad Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 37 pp
- Gilsanz, J. 2007. "Hidroponico". Montevideo, Uruguay. 15p.
- Grazia, J., P.A, Tittonel & A.Chiesa. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). vol. 16. Argentina. Pp 359-362.
- Hernández, J. 1993. *Olericultura*. E.U.N.E.D. San José, Costa Rica. 340p.
- Hurtado, N. 2003. La tilapia roja en el Perú. *Revista AquaTic*.19:41-52p.
- Mateus, J. 2009. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red de hidroponía, Boletín N° 44. Lima, Perú. 7-10pp.
- Mojica, F. 2010. Prospectivo del sistema-producto nacional de tilapia en México. Sinaloa, México. Pp 5-16.
- Morales, D.A. 1991. La tilapia en México, biología, cultivo y pesquerías. A.G.T. Editor S. A. México. 190p.
- Morales, B. 2004. Producción de hortalizas bajo sistemas hidropónicos, técnica de la película de nutriente (NFT) y cama de agua. Chapingo México. Pp 1-111.
- Moreno, E & A, Zafra. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Trujillo, Perú. Pp. 1-13.
- Muños, M. 2012. Sistemas de recirculación acuaponicos. Bogotá, Colombia. 123-129pp.

- Navarro, V. 2013. Análisis de la utilización de luz emitida por lámparas de diodo (LEDs) en la producción in vitro para la obtención de semilla pre básica de *Solanum tuberosum*. Argentina. 5p.
- Nelson, M. 2007. Acuaponía. Nelson/Pade Multimedia. Montillo, WI. USA. 15 pp.
- Rakocy, J.; Shultz, R.; Bailey, D. & Thoman, E. 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. P: 648:63-69.
- Rakocy, J.E., D, Bailey & J.M, Martin. 1988. Tilapia production systems for the Lesser Antilles and other resource-limited tropical areas. USA. 99p.
- Racocy, J. 1999. The status of aquaponics, Part 1. *Aquaculture Magazine*. 25(4):83-88p.
- Ramírez, D., D, Sabogal & Gomez-Ramirez, E. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. Volumen 5. USA. pp. 161-168.
- Rodríguez-González, H., S. G, Rubio-Cabrera & Garcia-Ulloa, M. 2015. Análisis técnico de la producción de tilapia (*oreochromis niloticus*) y lechuga (*lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. *Agro productividad*. (3):15-19 pp.
- Ross, L. G. 2000. Environmental physiology and energetics. *In*: M. C. M. Beveridge and B. J. Mc. Andrew (eds.) *Tilapias: Biology and Exploitation, Fish and Fisheries 11Series 25*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 89-128pp.
- Rubio, S. G. 2012. Análisis técnico de producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga acrópolis *Lactuca sativa*. Guasave, Sinaloa; México. Pp23-73.
- Runjaic-Rojas, B., D.A, Perdomo & D.E, Garcia. 2011. Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitralada producida en el estado Trujillo, Venezuela. 29(1): 113-126 pp.
- Somerville, C.; M. Cohen; E. Pantanella; A. Stankus & A. Lovatelli. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589*. Roma: FAO. 262-288 pp

- Stover, S. 2009. Acuaponía: Técnica de producción superintensiva. Revista digital Hortalizas. 15pp.
- Tindall, H.D. 1993. *Vegetables in the Tropics*. Macmillan International College. 3rd. Edition. London, U.K. 533p.
- Tyson, R.V.; D.D. Treadwell & E.H. Simonne. 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Hortechonology*. 21:6 -13.
- Vásquez, R. 2015. Evaluación agronómica de cinco variedades de lechuga (lactuca sativa) en tres ciclos de siembra consecutivos, en San Miguel de la tigua, San Carlos, Alajuela. Costa Rica. 11p.

## ANEXO

### ANEXO 1. *Oreochromis niloticus* “tilapia gris” (línea chitralada)



### ANEXO 2. *Lactuca sativa* “lechuga”



### ANEXO 3. Diseño NFT de un sistema acuapónico





**ANEXO 4.** Alimento comercial para los alevines de tilapia



**ANEXO 5.** Registro biométrico de tilapias y lechugas



**ANEXO 6.** Medición de lux de los fluorescentes usados en el tratamiento



**ANEXO 7.** Análisis químico del agua de los peces de *O. niloticus*



## RESUMEN

Se evalúa la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* línea chitralada a diferentes densidades en laboratorio. Se utilizaron densidades de 200, 250 y 300 alevines  $\text{m}^{-3}$  de agua. Los mayores crecimientos de *L. sativa* se obtuvieron a densidades de 300 alevines  $\text{m}^{-3}$  de  $2.67 \pm 0.53$  gr, siendo significativamente superior ( $p < 0.05$ ) en comparación con 200 y 250 alevines  $\text{m}^{-3}$  que presentaron promedios de  $1.87 \pm 0.35$  y  $1.62 \pm 0.28$ . Al día 40 el mayor peso de las plantas correspondió al tratamiento de 250 alevines  $\text{m}^{-3}$  con valores de  $4.33 \pm 0.10$  gr y esta tendencia se mantuvo hasta el final del experimento, con la diferencia que el tratamiento de 200 alevines  $\text{m}^{-3}$  obtuvo el mayor peso, y una mayor mortalidad que el tratamiento de 250 y 300 alevines  $\text{m}^{-3}$ . Por otro lado la mayor biomasa de *O. niloticus* correspondió al tratamiento de 300 alevines  $\text{m}^{-3}$  con valores de  $94.27 \pm 7.73$ . Se concluye que el mejor tratamiento fue el de 300 alevines  $\text{m}^{-3}$ . Se confirma a la acuaponía como un medio alternativo de bajo costo para el cultivo de *L. sativa*.

**PALABRA CLAVE:** *Oreochromis niloticus*, *Lactuca sativa*, acuaponía, densidad.

## ABSTRACT

The aquaculture production of *L. sativa* is evaluated using effluents from the culture of *O. niloticus*. chitralada variety, at different densities in the laboratory. It was used densities of 200, 250 and 300 fry per m<sup>-3</sup>. The highest growths of *L. sativa* of 2.67±0.53 gr, were obtained at densities of 300 fry per m<sup>-3</sup>; being significantly higher (p <0.05) than *L. sativa* weight of 1.87±0.35 obtained from 200 fry and 1.62±0.28 gr obtained from 250 fry per m<sup>-3</sup>. At day 40 the highest weight of the plants corresponded to the treatments of 250 fry per m<sup>-3</sup> with values of 4.33±0.10 gr. this tendency was maintained until the end of the experiment, With the difference among the treatment of 200 fry per m<sup>-3</sup>, plants obtained the highest weight with a higher mortality than the treatment of 250 and 300 fry per m<sup>-3</sup>. On the other hand, the highest biomass of *O. niloticus*. Corresponded to the treatment of 300 fry per m<sup>-3</sup> with values of 94.27±7.73.

It is concluded that the best treatment was 300 fry per m<sup>-3</sup>. Aquaponics is confirmed as a low cost alternative for the cultivation of *L. sativa*.

KEYWORD: *Oreochromis niloticus*, *Lactuca sativa*, aquapony, density.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura enfrenta parte del problema mundial de la escasez de agua dulce, al utilizar cerca del 70% de las reservas mundiales de agua (FAO, 2013); A esto se suman los sistemas acuícolas que realizan recambios que van desde el 50 al 300% diario del volumen total de agua, con el fin de diluir los desechos que los mismos organismos acuáticos generan continuamente en grandes cantidades (Mateus, 2009), por ello para lograr la sustentabilidad en los cultivos acuícolas es necesario valerse de tecnología como los sistemas de recirculación de agua (SRA) y tratamiento de la misma que permite optimizar un recurso tan valioso como el agua (Galli & Sal, 2007). Respecto a ello, existen innovaciones tecnológicas agrícolas que están disminuyendo su uso, entre ellas, la técnica de hidroponía y la más reciente acuaponía (Stover, 2009).

La técnica de acuaponía es un sistema que combina las técnicas de acuicultura con el cultivo hídropónico de plantas, donde los efluentes de los peces convertidos en nutrientes en virtud de la actividad microbiana, son aprovechados por las plantas que comparten el agua a través de canales; A este sistema se le conoce como Nutrient Film Technique (NFT), es el sistema hídropónico recirculante más popular para la producción de cultivos en el mundo, permitiendo que los nutrientes sean consumidos y éstos a su vez purifiquen el agua para los peces (Stover, 2009). El principio de este sistema (NFT) consiste en la circulación constante de nutrientes en donde no existe pérdida o salida al exterior de los nutrientes por lo que se constituye en un sistema de tipo cerrado (Carrasco & Izquierdo, 1996).

Los sistemas acuapónicos que integran el cultivo de peces y plantas (Alder *et.al.* 2003 y Tyson *et.al.* 2011), son necesarios para reducir los impactos por excesiva carga de nutrientes y disminuirlos en el agua, y son complementarios a los métodos de separación física tales como, la sedimentación o filtración que están limitados en la eliminación de nutrientes. Por ello la acuaponía se presenta como una de las pocas técnicas disponibles que pueden eliminar componentes de N y P disueltos generados a través de la acuicultura por medio de las plantas pues estas utilizan estos nutrientes para su crecimiento (Buzby & Lin, 2014).

El concepto de la utilización de residuos disueltos de los peces para fertilizar las plantas ha existido durante miles de años, con las primeras civilizaciones de Asia y América del sur aplicando este método (Somerville *et.al.* 2014). A través del trabajo pionero del Instituto Nueva Alquimia y otras instituciones académicas de América del Norte y Europa en la década de 1970, y una mayor investigación en las siguientes décadas, esta forma básica de acuaponía desarrolló modernos sistemas de producción de alimentos reduciendo los efectos o impactos contaminantes de las aguas de desechos de la acuicultura (Aguilera *et.al.* 2012).

Por otro lado, Racocy *et.al.* (2004). Anota que en un sistema acuapónico el agua es bombeada hacia la planta en cultivo que puede estar en un lecho de grava o tanques o en tuberías de PVC; las raíces de las plantas y las bacterias, remueven los nutrientes del agua, transformándose en fertilizante natural líquido para el crecimiento de ellas, a la vez de limpiar el agua, la cual, es oxigenada por medios sencillos y se reutiliza una y otra vez en los tanques de cría de peces.

Mateus (2009) y Mojica (2010), destacan que la especie de mayor producción cultivada con éxito en los sistemas de acuaponía, tanto en peso y número de operaciones comerciales, es la tilapia; un pez teleósteo, de la familia de los Cíclidos, endémico y originario de África y el Cercano Oriente, habita en la mayor parte de las regiones tropicales del mundo en agua dulce (Cantor, 2007); presenta ítems alimentarios diversos, siendo considerado omnívora (Hurtado, 2003); aunque en etapa juvenil es casi siempre zooplanctófaga (Morales, 1991). Son peces que soportan concentraciones de oxígeno bastante bajas, su requerimiento mínimo es de  $0.5 \text{ mg/L}^{-1}$ ; no obstante, se destaca que para su cultivo, la concentración recomendada es  $>5 \text{ mg/L}^{-1}$  en la columna de agua y de un mínimo de  $3 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua residual. Con relación a la temperatura, el mejor desempeño en el cultivo de “tilapia” se desarrolla en condiciones de temperatura entre  $26^\circ$  y  $32^\circ \text{ C}$  (Ross, 2000).

Para el cultivo de tilapia se han desarrollado diversas líneas, una de ellas es la tilapia *O. nilotica* línea chitralada, que al ser comparada con otras variedades de tilapia (Supreme, Chitralada y Bouaké), se encontró que la Chitralada presenta una cabeza más corta y un tronco más largo lo cual presupone que sus dimensiones corporales son más apropiadas para la valoración económica en los sistemas de cultivo, pues se

obtiene mejor aprovechamiento de su carne durante el procesamiento confirmándose como una buena especie para producción de carne (Runjaic *et.al.* 2011).

Con relación a la especie vegetal para la acuaponía se viene utilizando diferentes tipos de plantas, entre ellas *L. sativa* perteneciente a la familia Compositae, uno de los cultivos vegetales más importantes en el mundo, rica en vitamina A, C y minerales como el calcio y el hierro, existiendo variación en los nutrientes entre variedades de la especie (Tindall, 1993). Es una hortaliza típica de climas frescos. Los rangos de temperatura donde la planta crece en forma óptima, están entre los 15 °C y 18°C, con temperatura máximas de 21°C a 24 °C y mínima de 7°C (Cásseres, 1984). Hernández (1993) anota que es una planta que posee un sistema radicular poco ramificado con hojas lisas, sin peciolo y crece en suelo con un intervalo de pH de 6 a 6.8 y es considerada como una hortaliza ligeramente tolerante a la acidez.

*L. sativa* es el segundo cultivo más producido a nivel hidropónico después del “tomate”, este cultivo germina y se desarrolla entre 50 a 60 días, en la técnica hidropónica resulta muy económico y seguro, siendo fácil controlar y evitar las plagas y los ataques de insectos en este sistema por cuanto generalmente se emplean invernaderos (Alpizar, 2008). Aunque los cultivos hidropónicos han sido realizados desde la antigüedad, la combinación con la acuicultura es relativamente reciente, pero como la tecnología se desarrolla y es redefinida cada día, estos sistemas tienen el gran potencial de ser un método más eficiente y sostenible para el cultivo de peces y vegetales (Muños, 2012). Por ello la eficacia en los sistemas de acuaponía consiste en conocer las dimensiones de estos, teniendo en cuenta el equilibrio óptimo entre la producción de nutrientes del cultivo de animales y la absorción de nutrientes por las plantas, por cuanto un crecimiento insuficiente de la planta resultara en una acumulación de nutrientes en el sistema (Buzby & Lin 2014).

La importancia de incluir plantas en un sistema de cultivo, radica en la facilidad de asimilación de las sustancias presentes en dichos efluentes y su transformación de sustancias nutritivas para ellas mismas. Por otro lado se estaría presentando las bases para la utilización de tratamientos alternativos de aguas residuales de alto contenido tóxico a través de las plantas como *L. sativa* sin modificar ni afectar las condiciones ambientales del cultivo. Con respecto del punto de vista económico, la producción de

*L. sativa* tendría gran importancia por la utilización de efluentes con alto contenido de nutrientes, que además de permitir un crecimiento igual que el de los cultivos convencionales, sea de bajo costo y sin dejar de lado que ya existe un mercado para estos productos naturales (Racocy, 1999).

Teniendo en cuenta que los sistemas acuícolas generan continuamente grandes cantidades de desechos que pueden aprovecharse y obtener otro cultivo que genere a su vez una ganancia adicional, que además se traduce en mayores ingresos para el empresario. Por ejemplo, se ha reportado que por cada tonelada de pescado que se produce por acuaponía por año, se pueden llegar a producir alrededor de 7 TM de algún cultivo, ya sea “lechuga” o “albahaca” (CICESE, 2008), y a su vez se puede traducir en mayores puestos de trabajo dado la mayor necesidad de controlar dichos cultivos.

Es así que es necesario realizar investigaciones en cómo integrar ambas actividades y delimitar algunas variables como la densidad de peces, la densidad de plantas, etc., cuyo fin es el que se pretende alcanzar con el presente trabajo de investigación. Utilizar agua del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) bajo un sistema acuapónico con *L. sativa* permitirá mejorar la calidad del agua y a la vez se producirá biomasa vegetal, por ello planteamos el siguiente problema de investigación: ¿Cuál es el efecto de la densidad de siembra de 200, 250 y 300 alevines  $m^{-3}$  de *O. niloticus* (línea chitralada) en la Producción acuapónica de *L. sativa* en laboratorio?

El objetivo general del presente trabajo fue evaluar la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*. Línea chitralada a diferentes densidades en laboratorio. Los objetivos específicos fueron:

- Cuantificar el crecimiento en longitud de hoja, ancho de hojas, tamaño, peso y biomasa de *L. sativa* cultivada con efluentes del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) a densidades de 200, 250 y 300 alevines  $m^{-3}$ .
- Determinar el comportamiento de pH, oxígeno disuelto, temperatura, nitratos, nitritos, amonio y fosfato, en el sistema acuapónico de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo a diferentes densidades de 200, 250 y 300 alevines  $m^{-3}$  de *O. niloticus* “tilapia gris” (línea chitralada).

- Determinar los costos para la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes provenientes del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) a diferentes densidades (200, 250 y 300 alevines m<sup>-3</sup>)

Moreno & Zafra (2014) utilizaron efluentes de 50 y 25 organismos juveniles de tilapia roja para el crecimiento de *L. sativa* de los cuales el tratamiento de 50 organismos tuvo mejores resultados por tanto la hipótesis planteada fue que si en la producción de *L. sativa* utilizamos efluentes provenientes del cultivo de *O. niloticus* (línea chitralada) a diferentes densidades (200, 250 y 300 alevines m<sup>-3</sup>) en un sistema acuapónico, entonces con la densidad de 300 alevines m<sup>-3</sup> de *O. niloticus* (línea chitralada), se lograría un mejor crecimiento de las plantas de *L. sativa*.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Localización del experimento:

Se desarrolló en el Laboratorio de Acuicultura Continental y Nutrición de los Organismos Acuáticos de la Escuela Profesional de Biología en Acuicultura, Universidad Nacional del Santa, Urb. Bellamar S/N, distrito de Nuevo Chimbote, provincia del Santa, región Ancash, Perú.

### 2.2. Material experimental

#### 2.2.1. Población

La población de peces estuvo constituida por alevines de *O. niloticus* (línea chitralada) (Anexo 1), procedentes de la empresa “El Gran Paso” ubicada en Tarapoto (Perú).

Los peces fueron trasladados vía terrestre, por 12 horas en 3 bolsas plásticas dentro de una caja de cartón cada una, a una proporción de 1 a 3; se procedió a su acondicionamiento en tres tanques de agua con oxígeno, luego fueron distribuidos a los acuarios según los tratamientos.

Se adquirieron semillas de “lechuga” de una agrícola local del distrito de Chimbote (Ancash, Perú), las mismas que se sembraron en módulos plásticos con sustrato a base de compost a una composición de 1.7% de N, 0.87% de P, 2.5% de C, 1.3% de K, 0.98% de Mg, 0.17% de Na, a un pH de 7.4, porosidad y retención de agua buena para su germinación y crecimiento durante tres semanas aproximadamente, una vez que las plantas contaron con 4 hojas fueron traspasadas al sistema acuapónico.

#### 2.2.2. Muestra

Los peces se seleccionaron mediante la prueba de normalidad, obteniendo un total de 250 peces entre  $3.5 \pm 0.5$  cm a un peso de  $1.25 \pm 0.25$  g distribuyéndose al azar en los diferentes tratamientos ya establecidos.

Las plantas de lechuga seleccionada fueron de la variedad escarola de 25 días de germinación a una proporción de 200 plantas por almácigo.

### **2.3. Acondicionamiento de las unidades experimentales**

La unidad experimental estuvo diseñada básicamente por el sistema NFT, constituido por 12 acuarios de 80 litros cada uno, distribuidos según los tratamientos a una densidad de 20, 25 y 30 alevines por acuario y un tratamiento control sin peces.

Los sistemas de cultivo contaron con un filtro a base de esponjas para retirar el sedimento del fondo de los acuarios por “airlift” y controlados a base de llaves plásticas; el aire fue proporcionado por un blower de ½ HP, cuya distribución fue regulada diariamente, de tal manera que proporcionó un flujo de agua para el sistema de cultivo de aproximadamente 1 L/min.

El módulo de cultivo de “lechugas” se construyó a base de tubería PVC de 2” de diámetro con 50 cm de ancho por 60 cm de largo unidos por codos de PVC de 2” de diámetro; cada módulo contaba con 8 agujeros con una separación aproximada de 25 cm y se colocó una canastilla con una plántula en cada agujero, en total 8 plántulas por módulo.

Todos los tratamientos contaron con esponjas difusoras de oxígeno.

Todos los tratamientos fueron iluminados con fluorescentes de 40 watts. Iluminancia: 1000 lux un total de 12 fluorescentes, uno por acuario a una distancia de 40 cm de las plantas.

### **2.4. Fertilizantes para el grupo control**

Los fertilizantes para el grupo control fueron obtenidos de la Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Agraria y llevados al Laboratorio de Acuicultura Continental de la Universidad Nacional del Santa.

El agua de cultivo se preparó añadiendo 5 mL de la solución concentrada A y 2 mL de la solución concentrada B por litro de agua de cultivo. Se mantuvo al tratamiento control agregando 150 ml de solución A y 60 ml de solución B, en una proporción de 30 L de agua por acuario, con un pH de 5.4.

## **2.5. Dieta para los alevines de *O. niloticus***

El alimento comercial que se dio a los peces fué distribuido de acuerdo a la biomasa de los tratamientos a razón del 10 % de su peso, el alimento se les suministroo 3 veces al día, a las 8, 13 y 18 horas.

## **2.6. Registro biométrico de los peces y plantas**

El registro biométrico de los peces y plantas se realizó al inicio del tratamiento y posteriormente cada 15 días, en las plantas se midieron peso y talla y en los peces solo se midió peso. Se sedó a los peces y peso individualmente con una balanza de digital de ( $\pm 0.001$ g) de sensibilidad, luego se colocó a los peces en otro recipiente con abundante agua para que se recuperaran, esto se hizo así con cada tratamiento.

Las plantas se pesaron en una balanza digital de ( $\pm 0.001$ g) de sensibilidad, se retiraron las plantas de los tratamientos y se pesaron en sus respectivos recipientes, luego se le resto el peso del recipiente obteniendo el peso de la planta, luego se contó el número de hojas y se midió el largo, el ancho de las hojas y altura de la planta, así respectivamente con cada tratamiento.

## **2.7. Registro de los parámetros físicos y químicos del agua**

Los parámetros fisicoquímicos se midieron antes de colocar las plantas y cada 15 días. La prueba de  $\text{NO}_3$  se midió a la entrada y a la salida del agua;  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , Gh, Kh, Ca, T y  $\text{O}_2$  se midieron por las mañanas antes de alimentar a los peces. La temperatura y el oxígeno disuelto se registraron con un oxímetro digital YSI  $55 \pm 0.01 \text{ mg/L}^{-1}$  de sensibilidad. El pH fue medido con un pH-metro digital Hanna con 0.01 de sensibilidad.

## **2.8. Tratamiento estadístico de los datos colectados**

Los datos de incremento en biomasa, talla, peso y supervivencia de “tilapia” y “lechuga”, y parámetros físico-químicos del agua, fueron sometidos al análisis de varianza y a la prueba de Duncan, para ambos casos con un nivel de confianza de 95 %, para determinar la significancia entre sus promedios. El proceso estadístico se realizó utilizando los programas Microsoft Excel y SPSS 20.0.

### **2.9. Costos de producción de *L. sativa***

Los costos de producción fueron autofinanciados, manejado materiales de oficina con costos de 70 S/; Materiales diversos que se usaron para los análisis de los parámetros físico, siendo los más costos con un total de 1980 S/; En los materiales biológico como los organismos de *O. niloticus* y las semillas de *L. sativa*, costando 560 S/.

Se manejaron otros gastos como transporte, materiales de acondicionamiento y servicios, los cuales en conjunto suman un monto de 3475 S/. El monto general alcanzado en todo el proyecto fue de 6085 S/.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. *L. sativa* “lechuga”

Los valores iniciales de peso, talla, biomasa, longitud de hoja y diámetro de hoja de *L. sativa* fueron registrados al inicio del experimento. Se observa que los datos fueron homogéneos para lo cual se aplicó el test de normalidad.

Tabla 1. Peso, talla, biomasa, longitud de la hoja (LH) y diámetro de la hoja (DH) de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades.

Trat.	Crecimiento de lechugas	Tiempo (días)			
		0	20	40	60
C Sin peces	Peso (g)	0,78±0,01 <sup>a</sup>	-	-	-
	Biomasa (g)	6,23±0,11 <sup>a</sup>			
	Tamaño (cm)	6,02±0,32 <sup>a</sup>	-	-	-
	LH (cm)	3,22±0,26 <sup>a</sup>	-	-	-
	DH (cm)	2,46±0,14 <sup>a</sup>	-	-	-
T1 200 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,79±0,00 <sup>a</sup>	3,90±0,09 <sup>a</sup>	4,15±0,17 <sup>a</sup>	1,87±0,35 <sup>b</sup>
	Biomasa (g)	6,30±0,0 <sup>a</sup>	31,23±0,78 <sup>a</sup>	31,87±3,36 <sup>a</sup>	14,43±3,28 <sup>a</sup>
	Tamaño (cm)	6,08±0,29 <sup>a</sup>	10,02±0,47 <sup>a</sup>	13,40±1,67 <sup>a</sup>	18,80±3,31 <sup>a</sup>
	LH (cm)	3,35±0,16 <sup>a</sup>	3,81±0,20 <sup>a</sup>	4,47±0,27 <sup>a</sup>	5,17±0,25 <sup>a</sup>
	DH (cm)	2,38±0,11 <sup>a</sup>	2,89±0,20 <sup>a</sup>	2,93±0,11 <sup>a</sup>	2,55±0,21 <sup>a</sup>
T2 250 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,79±0,00 <sup>a</sup>	4,17±0,23 <sup>a</sup>	4,33±0,10 <sup>a</sup>	1,62±0,28 <sup>b</sup>
	Biomasa (g)	6,33±0,06 <sup>a</sup>	31,93±1,73 <sup>a</sup>	30,37±0,70 <sup>a</sup>	9,43±3,63 <sup>a</sup>
	Tamaño (cm)	6,52±0,24 <sup>a</sup>	13,25±2,06 <sup>a</sup>	14,60±1,08 <sup>a</sup>	16,41±3,48 <sup>a</sup>
	LH (cm)	3,30±0,07 <sup>a</sup>	3,95±0,24 <sup>a</sup>	4,78±0,13 <sup>a</sup>	5,0±0,57 <sup>a</sup>
	DH (cm)	2,67±0,06 <sup>a</sup>	2,95±0,20 <sup>a</sup>	3,10±0,19 <sup>a</sup>	2,51±0,11 <sup>a</sup>
T3 300 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,79±0,00 <sup>a</sup>	3,90±0,16 <sup>a</sup>	4,15±0,21 <sup>a</sup>	2,67±0,53 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	6,30±0,00 <sup>a</sup>	28,57±2,05 <sup>a</sup>	29,07±1,47 <sup>a</sup>	17,13±6,27 <sup>a</sup>
	Tamaño (cm)	6,52±0,24 <sup>a</sup>	10,43±1,29 <sup>a</sup>	13,20±0,43 <sup>a</sup>	20,65±1,45 <sup>a</sup>
	LH (cm)	3,27±0,51 <sup>a</sup>	3,86±0,04 <sup>a</sup>	4,50±0,12 <sup>a</sup>	6,02±0,55 <sup>a</sup>
	DH (cm)	2,70±0,01 <sup>a</sup>	2,95±0,13 <sup>a</sup>	3,05±0,03 <sup>a</sup>	3,02±0,40 <sup>a</sup>

Los valores se presentan como las medias ± desviación estándar (n=3).

Valores con la misma letra en la misma fila, indican que no existen diferencias significativas (p>0.05) para la prueba de Tukey.

Antes del primer muestreo los plantines de *L. sativa* del grupo control se marchitaron y murieron en un 100% por lo que no se pudo seguir muestreando. Hasta los 40 días de cultivo todos los tratamientos de *L. sativa* tuvieron un crecimiento constante pero sin obtener diferencias significativas ( $p>0.05$ ). A los 60 días todos los tratamientos decayeron observándose mayores crecimientos en peso en el tratamiento de 300 peces  $m^{-3}$ . Al día 40 la biomasa no presenta diferencias significativas ( $p>0.05$ ), decayendo posteriormente hasta el día 60 pero manteniéndose sin presentar diferencias significativas ( $p>0.05$ ).

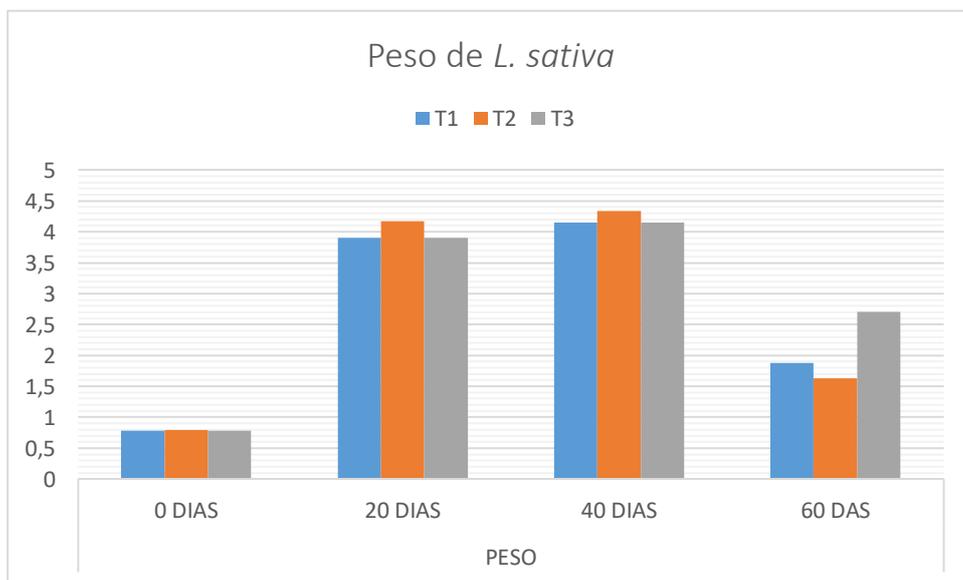


Figura 1. Crecimiento de *L. sativa* en peso durante el experimento para los tres tratamientos. El mayor peso se observa en el tratamiento 2 hasta los 40 días, posteriormente decayeron observándose un mayor peso en el tratamiento 3 hacia el final de los 60 días.

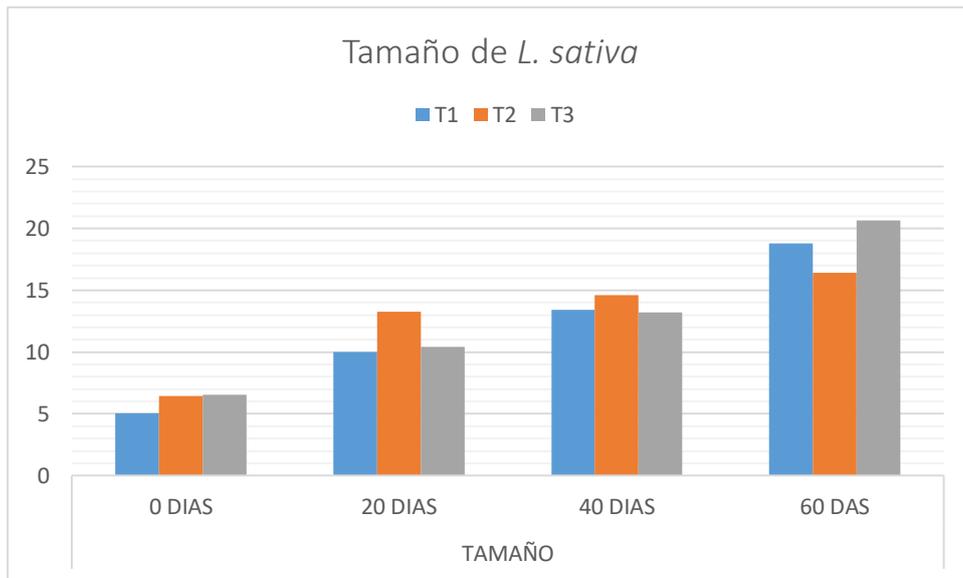


Figura 2. Crecimiento de *L. sativa* en tamaño de las plantas durante el experimento para los tres tratamientos.

El mayor tamaño se observa en el tratamiento 3 al final de los 60 días.

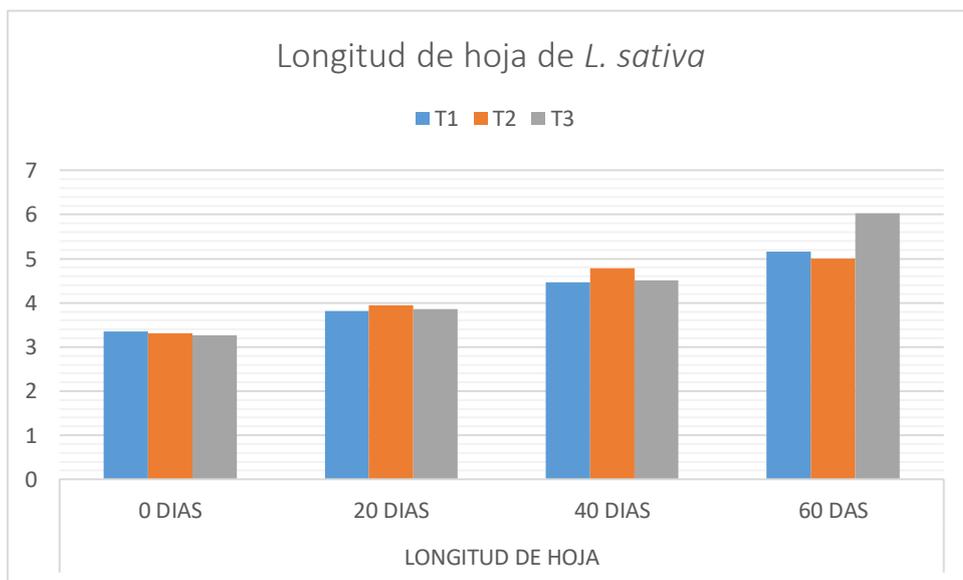


Figura 3. Crecimiento de *L. sativa* en longitud de hoja durante el experimento para los tres tratamientos.

La mayor longitud de hoja se observa en el tratamiento 3 al final de los 60 días.

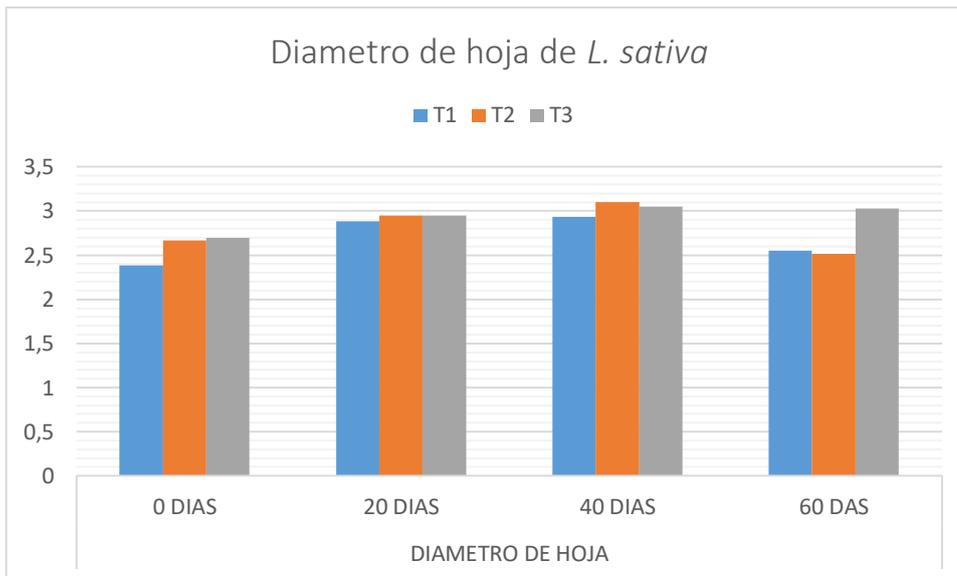


Figura 4. Crecimiento de *L. sativa* en diámetro de hoja durante el experimento para los tres tratamientos.

El mayor diámetro de hoja se observa a los 40 días en el tratamiento 2; posteriormente los tratamientos decayeron observándose un mayor diámetro de hoja en el tratamiento 3 al final de los 60 días.

Tabla 2. Tasa de crecimiento de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades.

Crecimiento de <i>L. sativa</i>	T1 200 peces m <sup>-3</sup>	T2 250 peces m <sup>-3</sup>	T3 300 peces m <sup>-3</sup>
TC Peso (g/día)	0,084±0,004 <sup>a</sup>	0,088±0,002 <sup>a</sup>	0,082±0,004 <sup>a</sup>
TC Talla (cm/día)	0,184±0,050 <sup>a</sup>	0,203±0,026 <sup>a</sup>	0,166±0,010 <sup>a</sup>
TC LH (cm/día)	0,028±0,004 <sup>a</sup>	0,036±0,002 <sup>a</sup>	0,030±0,004 <sup>a</sup>
TC DH (cm/día)	0,013±0,004 <sup>a</sup>	0,010±0,005 <sup>a</sup>	0,008±0,000 <sup>a</sup>
TCE Peso (%/día)	4,147±0,102 <sup>a</sup>	4,245±0,073 <sup>a</sup>	4,144±0,128 <sup>a</sup>
TCE Talla (%/día)	1,963±0,428 <sup>a</sup>	2,041±0,179 <sup>a</sup>	1,759±0,097 <sup>a</sup>
TCE LH (%/día)	0,721±0,075 <sup>b</sup>	0,922±0,045 <sup>a</sup>	0,796±0,104 <sup>ab</sup>
TCEDH (%/día)	0,522±0,166 <sup>a</sup>	0,378±0,169 <sup>a</sup>	0,307±0,020 <sup>a</sup>

Valores con letra distinta en la misma fila, indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para la prueba de Tukey. TC: tasa de crecimiento, TCE: tasa de crecimiento específico.

Solo se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para el parámetro tasa de crecimiento en peso (g/día) para los tres tratamientos empleados y de entre ellos el tratamiento de 300 peces m<sup>-3</sup> es mayor.

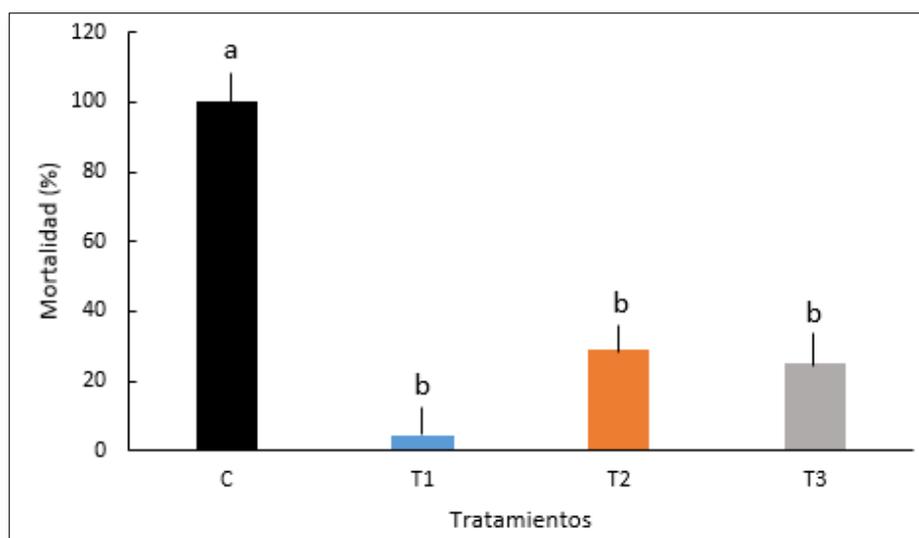


Figura 5. Mortalidad media (n=3) de *L. sativa* durante el experimento. Valores con la misma letra, indican que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) para la prueba de Tukey.

El tratamiento control sufrió mortalidad total a la primera semana de cultivo. No se observó diferencias significativas en la mortalidad entre los tratamientos experimentales.

### 3.2. Cultivo de Peces

Tabla 3. Crecimiento y mortalidad de *O. niloticus* durante 60 días bajo diferentes densidades de producción, en cultivo acuaponico.

Trat.	Crecimiento de peces	Tiempo (días)			
		0	20	40	60
T1 200 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,36±0,01 <sup>a</sup>	2,11±0,61 <sup>a</sup>	3,34±0,99 <sup>a</sup>	4,26±1,10 <sup>a</sup>
	Ganancia peso (g)		0,24±0,03 <sup>a</sup>	1,76±0,61 <sup>a</sup>	3,90±1,10 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	7,17±0,15	12,13±0,49 <sup>c</sup>	39,87±9,44 <sup>b</sup>	64,33±10,97 <sup>b</sup>
	Mortalidad				23,33±7,63 <sup>a</sup>
T2 250 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,37±0,01 <sup>a</sup>	1,67±0,20 <sup>a</sup>	2,36±0,29 <sup>a</sup>	3,40±0,38 <sup>a</sup>
	Ganancia peso (g)		0,20±0,00 <sup>b</sup>	1,30±0,20 <sup>a</sup>	3,03±0,36 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	9,30±0,26	14,20±0,20 <sup>b</sup>	39,07±4,45 <sup>b</sup>	68,87±5,32 <sup>b</sup>
	Mortalidad				18,66±8,32 <sup>a</sup>
T3 300 peces m <sup>-3</sup>	Peso (g)	0,38±0,00 <sup>a</sup>	2,06±0,20 <sup>a</sup>	2,94±0,30 <sup>a</sup>	3,87±0,26 <sup>a</sup>
	Ganancia peso (g)		0,16±0,00 <sup>b</sup>	1,68±0,20 <sup>a</sup>	3,48±0,26 <sup>a</sup>
	Biomasa (g)	11,43±0,06	16,37±0,15 <sup>a</sup>	58,40±3,40 <sup>c</sup>	94,27±7,73 <sup>c</sup>
	Mortalidad				18,88±3,85 <sup>a</sup>

Los valores se presentan como las medias ± desviación estándar (n=3). Valores con la misma letra en la columna, indican que no existen diferencias significativas (p>0.05) para la prueba de Tukey.

No se encontró diferencias significativas (p>0.05) en cuanto al peso promedio, ganancia en peso y mortalidad entre los tratamientos. En cuanto a la biomasa a partir del día 20 se observa diferencias significativas en el tratamiento de mayor densidad (300 peces m<sup>-3</sup>), hasta el final del cultivo.

### 3.3. Flujo de agua

Tabla 4. Flujo de agua en el crecimiento de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades.

Tratamientos		Flujo de agua
TC Sin peces m <sup>-3</sup>	TCR1	1 L/min
	TCR2	900 mL/min
	TCR3	1.200 L/min
T1 200 peces m <sup>-3</sup>	T1R1	1.100 L/min
	T1R2	1.150 L/min
	T1R3	1 L/min
T2 250 peces m <sup>-3</sup>	T2R1	1 L/min
	T2R2	1 L/min
	T2R3	1 L/min
T3 300 peces m <sup>-3</sup>	T3R1	1.050 L/min
	T3R2	1 L/min
	T3R3	1 L/min

Valores de flujo de agua en el crecimiento de *L. sativa* en un sistema acuaponico utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*.

Los valores de flujo de agua no pasan los 2 L/min para todos los tratamientos. Solo en el tratamiento control se observa que en una de sus repeticiones el flujo de agua es menos de 1 L/min. Los tratamientos de 200 peces m<sup>-3</sup>, de 250 peces m<sup>-3</sup> y de 300 peces m<sup>-3</sup> muestran flujos iguales o superiores a 1L/min.

### 3.4. Calidad de agua



Figura 6. Comportamiento de los parámetros físico químicos en el crecimiento de *L. sativa* “lechuga” en el sistema acuaponico utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus*.

Respecto a los parámetros fisicoquímicos durante la investigación, los valores de temperatura del agua del tratamiento T1 oscilaron entre 23.33 a 24C°, y para el T2 y T3 los valores oscilaron entre 23.66 a 24C°. Los valores pH presentaron oscilaciones entre 7.94 a 8 para el T1; 7.93 a 7.97 para el T2 y 7.96 a 8 para T3.

Los niveles de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en el agua de entrada de todos los tratamientos fueron similares y no se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los mismos; solo en el tratamiento T1 a los 60 días los niveles de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) se encuentran en  $110 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de entrada y en  $50 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de salida del sistema; en el tratamiento T2 a los 21 días los niveles de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) se encuentran en  $50 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de salida del sistema, así como también no se encontraron diferencias significativas para los niveles de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) con valores de  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$  en todos los tratamientos, calcio (Ca) con valores que oscilan entre  $60 \text{ mg/L}^{-1}$  a  $100 \text{ mg/L}^{-1}$  y Dureza carbonatada con valores que oscilan entre  $64 \text{ mg/L}^{-1}$  a  $100 \text{ mg/L}^{-1}$  (Tabla 5).

Se encontró diferencias significativas en las concentraciones de nitrito ( $\text{NO}_2$ ), donde las concentraciones a los 21 días de cultivo de los tratamientos T2 con  $0.8 \text{ mg/L}^{-1}$  y T3 con  $0.8 \text{ mg/L}^{-1}$ , fueron significativamente superiores ( $p<0.05$ ) frente a la concentración del T1 con  $0.3 \text{ mg/L}^{-1}$  (Tabla 5). Del mismo modo los niveles de fosfato ( $\text{PO}_4$ ) de los tratamientos T2 con  $0.5 \text{ mg/L}^{-1}$  y T3 con  $0.5 \text{ mg/L}^{-1}$ , fueron significativamente superiores a la concentración del T1 con  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ . Y finalmente

las concentraciones de Dureza total en los tratamientos T2 y T3 en los días 0, 21 y 60, fueron significativamente superiores ( $p < 0.05$ ) a la concentración de T1.

Tabla 5. Concentraciones de nutrientes (mg/L<sup>-1</sup>), oxígeno (mg/L<sup>-1</sup>), pH y temperatura (°C) en la producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluentes del cultivo de *O. niloticus* bajo diferentes densidades de producción. C: Control; T1: 200 alevines m<sup>-3</sup>; T2: 250 alevines m<sup>-3</sup>; T3: 300 alevines m<sup>-3</sup>. Los valores se presentan como las medias ± desviación estándar (n=3). E: entrada y S: salida.

Trat.	Días	O <sub>2</sub>	pH	T	NO <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Ca	Dureza carbonatada	Dureza general
					E	S						
1	0	5,71±0,18 <sup>a</sup>	7,97± 0,03 <sup>a</sup>	23,33±0,57 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	3,30± 0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	60,0±0,0 <sup>a</sup>	70,0± 0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>b</sup>
	21	5,27±0,12 <sup>a</sup>	7,94±0,06 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0± 0,0 <sup>a</sup>	0,3±0,0 <sup>b</sup>	0,1± 0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>b</sup>	60,0± 0,0 <sup>a</sup>	71,0± 1,0 <sup>a</sup>	91,0±1,00 <sup>b</sup>
	60	4,61±0,14 <sup>a</sup>	8,0±0,0 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	50,0±0,0 <sup>b</sup>	0,47±0,29 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	2,0±0,0 <sup>a</sup>	60,0±0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	107,0±6,08 <sup>b</sup>
2	0	5,62±0,12 <sup>a</sup>	7,97± 0,02 <sup>a</sup>	23,66±0,57 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	3,30±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	90,0±0,0 <sup>a</sup>	120,0±0,0 <sup>a</sup>
	21	5,33±0,05 <sup>a</sup>	7,97±0,03 <sup>a</sup>	23,67±0,57 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	50,0±0,0 <sup>b</sup>	0,8±0,00 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,5± 0,0 <sup>a</sup>	100,0± 0,0 <sup>a</sup>	91,0±1,0 <sup>a</sup>	121,0±1,0 <sup>a</sup>
	60	4,52±0,03 <sup>a</sup>	7,93±0,11 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0± 0,0 <sup>a</sup>	0,63±0,29 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	2,5± 0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0± 0,0 <sup>a</sup>	121,0±1,0 <sup>a</sup>
3	0	5,69±0,14 <sup>a</sup>	7,96±0,01 <sup>a</sup>	23,66±0,57 <sup>a</sup>	70±34,64 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	3,30±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	0,1±0,0 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	90,0±0,0 <sup>a</sup>	120,0±0,0 <sup>a</sup>
	21	5,24±0,06 <sup>a</sup>	7,96±0,01 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0±0,0 <sup>a</sup>	0,8±0,0 <sup>a</sup>	0,1± 0,0 <sup>a</sup>	0,5± 0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	64,0±0,0 <sup>a</sup>	114,33± 6,6 <sup>a</sup>
	60	4,35±0,12 <sup>a</sup>	8,0±0,0 <sup>a</sup>	24,0±0,0 <sup>a</sup>	110±0,0 <sup>a</sup>	110,0±0,0 <sup>a</sup>	0,47±0,29 <sup>a</sup>	0,1± 0,0 <sup>a</sup>	3,33± 1,44 <sup>a</sup>	80,0±0,0 <sup>a</sup>	100,0±0,0 <sup>a</sup>	124,0±1,0 <sup>a</sup>

Valores con la misma letra en la columna, indican que no existen diferencias significativas (p>0.05) para la prueba de Tukey. El análisis estadístico se realizó comparando los resultados entre tratamientos y de manera independiente según los días de cultivo. Por ejemplo se comparó la temperatura del tratamiento 1 del día cero con las temperaturas de los tratamientos 2 y 3, y del mismo día (cero).

### 3.5. Costos de Producción:

Tabla 6. Gastos determinados en la producción de *L. sativa*, indicando los materiales y servicios que se usaron.

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
<b>PAPELERA EN GENERAL, ÚTILES Y MATERIALES DE OFICINA</b> ✓ Papel bond, lápices, impresión	70.00
<b>OTROS MATERIALES DIVERSOS</b> ✓ Termómetro, oxímetro, pH metro, luxómetro	1980.00
<b>MATERIAL BIOLÓGICO</b> ✓ Tilapia nilotica , lechuga, alimento para peces	560.00
<b>OTROS GASTOS</b> ✓ Transporte	65.00
<b>MATERIALES DE ACONDICIONAMIENTO</b> ✓ Mangueras, llaves, piedras difusoras, tuberías, codos, ✓ filtros ✓ blower	1300.00 220 1500.00
<b>SERVICIOS</b> ✓ Internet ✓ Impresión, encuadernado y empastado	90.00 300.00
<b>Total</b>	<b>6085</b>

#### IV. DISCUSIÓN

En un cultivo acuapónico es muy importante el flujo de agua que pase por el sistema. Carrasco & Izquierdo (1996) recomiendan, que para el logro del sistema la bomba debe ser capaz de impulsar eficientemente un caudal de 2 a 3 L/min, caudal que no fue logrado durante el estudio (Tabla 3) y que planteamos influyo en el sistema; dichos autores afirman que durante el período de crecimiento del cultivo, el flujo de la solución puede aumentarse, para favorecer el contacto íntimo de la solución con las raíces, esto se ve reflejado al observar que los tres tratamientos tuvieron un crecimiento constante hasta el día 40 del experimento (Tabla 1) y al día 60 se observó un colapso en el sistema, donde los parámetros de crecimiento de *L. sativa* disminuyeron.

Igual experiencia puede ser aplicable al tratamiento control, que si bien fue un cultivo hidropónico, al no tener una mayor circulación de agua con nutrientes químicos, no fue suficiente y previo a una marchitación total de las plantas estas murieron totalmente antes de los 20 días de experimentación; por una mala circulación de agua con nutrientes, observándose los clásicos síntomas de plantas con deficiencia de nutrientes, como el color amarillento de sus hojas. Ramírez *et.al.* (2009) menciona que los síntomas como amarillamiento resultan por deficiencia de nitrógeno, boro, hierro y magnesio.

Por otro lado durante la experiencia con respecto al tratamiento control se podría decir que el mayor problema que sufrió este tratamiento fue debido a que la bomba que fue utilizada no permitía un movimiento constante del agua, muy importante para que los nutrientes se mantengan suspendidos y puedan ser absorbidos por las plantas. Ramírez *et.al.* (2009) recomienda un constante movimiento del agua para una buena aireación y suspensión de nutrientes.

El cultivo de *L. sativa* a los 60 días, si bien por las causas explicadas decayó, se observó que el tratamiento de 300 peces/m<sup>3</sup> dio mejores resultados ( $P < 0.05$ ). Esto puede ser debido al aporte de nutrientes dado por la mayor densidad de peces utilizados, que al producir en mayor concentración permite a este tratamiento mayores resultados dentro de la disminución observada.

Se hace notar que la falta de mayor circulación de agua en el sistema interfirió para la obtención de nutrientes y oxígeno por parte de la planta que hubiera permitido la obtención de mejores resultados de crecimiento de *L. sativa*, demostrados en otros experimentos con mejores resultados como lo encontrados por Moreno & Zafra (2014) en tilapia roja *Oreochromis* sp con resultados de 9.6 cm y 0.15 cm/día de longitud de hoja con tratamientos de 50 peces juveniles  $m^{-3}$ , a un caudal de 2.4 L/min y 8 L/min no encontrándose diferencias significativas entre ellas, pero si resultando superiores a nuestros datos; así como también por lo reportado por Cáceres (2013) que obtuvo, en el mismo tiempo de cultivo y con tratamientos de 63 peces juveniles  $m^{-3}$ , un crecimiento en longitud de hoja de 19.76 cm., muy diferentes a nuestros resultados los cuales fueron inferiores, pero entre ellos encontramos que el tratamiento de 300 peces  $m^{-3}$  fue significativamente superior con resultados de 6.02 cm frente a los resultados de longitud de la hoja de los tratamientos de 200 peces  $m^{-3}$  de 5.17cm y 250 peces  $m^{-3}$  de 5 cm.

En cuanto al peso promedio final de todos los grupos experimentales de lechuga, fue menor al compararlo con otros trabajos. Garzón-López *et.al.* (2006) evaluaron tres variedades en un período de 36 días después del trasplante, obteniendo un peso promedio final de 167 gr para la variedad Paris, 72 gr para la variedad Vulcan y 52 gr para la variedad Verónica, además se les adicionó una solución nutritiva que aportó los nutrientes que requiere la planta y sirve como fertilizante, mientras que en el presente estudio, los pesos de los tratamientos se mantuvieron constantes siendo significativamente iguales hasta los 40 días, pero resultando superior el tratamiento de 250 peces  $m^{-3}$  con un peso de 4.33 gr para este tratamiento, muy diferentes para el tratamiento de 200 peces  $m^{-3}$  con 4.15 g y 300 peces  $m^{-3}$  con 4.15 gr, además no se le adicionó otros tipos de nutrientes a las plantas. Rakocy, JE. (1988) menciona que el alimento suministrado a los peces puede contener 10 de los 13 nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. Los nutrientes que requieren suplementación son K, Ca y Fe. Y son suministrados en forma de KOH, Ca (OH) y quelato de hierro (10%), el Ca y K actúan como reguladores del pH.

El crecimiento de las lechugas en el sistema acuaponico fue bajo comparado a otros estudios realizados, sin embargo esto se puede asociar al modelo de sistema NFT en especial al modelo de filtro por ser diferente a otros sistemas utilizados; esto pudo haber influido en la fijación de bacterias nitrificantes y como estos nutrientes llegaban a las

plantas, además la absorción de los nutrientes por las raíces de la lechuga se vio perjudicada por la materia orgánica acumulada en ellas. Por lo que se considera la unión de todos los tratamientos a un solo filtro de mayor capacidad, volumen y la inclusión de lechos múltiples para un mejor filtrado Castellán, G. (2015)

La mortalidad de la lechuga obtenida en el presente trabajo según se observa en la fig. 5, fue inferior comparado con lo reportado por Rubio (2012); pero fue superior por lo encontrado por Arriaza & Martínez (2009). Esto se atribuye a la poca absorción de nutrientes por parte de la planta, muy probable menor a 0.3 litros de solución diluida al día como lo reporta Carrasco & Izquierdo (1996).

Durante el crecimiento, las tilapias no tuvieron diferencias significativas entre tratamientos, al final de los 60 días los resultados arrojaron para el (T1)  $4.26 \pm 1.10$ ; (T2)  $3.40 \pm 0.38$  y (T3)  $3.87 \pm 0.26$ ; aunque se observa un mayor crecimiento para el tratamiento de 200 peces  $m^{-3}$ , el tratamiento con mayor biomasa fue del tratamiento de 300 peces  $m^{-3}$ , aún así el crecimiento de las tilapias fue bajo comparado con el reportado por Rodríguez-Gonzales *et.al.* (2015) que obtuvo un crecimiento de  $6.41 \pm 1.7$  para SCB y  $5.72 \pm 1.3$  para SRA (sistema de biofiltración y recambio de agua) al cabo de 40 días, trabajando con valores de nitrato de  $4.92 \pm 1.9$  en la entrada y  $3.23 \pm 1.5$   $mg/L^{-1}$  salida en la producción acuapónica de lechuga y tilapia. Los resultados del bajo crecimiento para nuestro experimento se deberían a que las concentraciones de nitrato tanto en la entrada y salida de los acuarios estuvieron elevados (mayor a  $110$   $mg/L^{-1}$ ). Así mismo Bautista-Bautista-Covarrubias, J.C. & J.M. Velazco-Arce (2011), menciona que niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico por lo tanto es muy probable que este nutriente haya afectado el crecimiento de los peces. Sin embargo cabe resaltar que se realizó el recambio de agua oportuno para disminuir los niveles altos de nitritos a razón de 1/3 de agua.

Nuestros resultados también nos demuestran que las densidades de siembra empleadas en el experimento no afectaron significativamente el crecimiento ( $p > 0.05$ ). Por el contrario la mortalidad de los peces al inicio del experimento se vio afectado muy probablemente por el incremento de las concentraciones de nitritos mayores de  $1$   $mg/L^{-1}$ ; ya que se obtuvieron durante todo el experimento porcentajes de mortalidad elevados de

19 a 23% comparado con lo reportado por García-Ulloa *et.al.* (2004) en un sistema acuapónico de tilapia (*O. mossambicus*), en donde obtuvieron un 0% de mortalidad. Así también Cervantes-Santiago *et.al.* (2015) obtuvieron un 0% de mortalidad en un sistema acuaponico de tilapia *O. niloticus* con diversos vegetales. Mientras que Arriaza & Martínez (2009) obtuvieron un 14% en la producción hidropónica de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. En términos generales la mortalidad en los peces se mantuvo entre 19 y 23%. Sin embargo, es preciso resaltar que durante el experimento, la mortalidad de los peces también estuvo relacionada con el funcionamiento y acople de equipos utilizados en los sistemas (problemas de succión de peces por parte del sistema air life).

Cabe mencionar que las lechugas de hoja arrepollada denominadas "escarolas", utilizada en este experimento, cuando se cultivan en este tipo de sistema "NFT", se deben cuidar las condiciones de temperatura, humedad y luminosidad del invernadero, para así obtener una lechuga de cabeza firme y alto valor comercial. Carrasco & Izquierdo (1996) mencionan que la temperatura óptima para la formación de la cabeza es de alrededor de 20°C, siendo que los valores registrados en cuanto a temperatura durante el experimento se encontraron entre 23.5 a 24 °C. Para las plantas de lechuga la temperatura óptima de germinación oscila entre 18 a 20°C, durante la fase de crecimiento el cultivo requiere de 14 a 18°C durante el día y 5 a 8°C durante la noche según Frias (2012). Por otro lado los rangos de temperatura óptima de este cultivo para los peces son de 22 a 26°C según Morales (1991). Somerville *et.al.* (2014) afirma que el rango de temperatura tanto para las bacterias como para las plantas y peces debe oscilar entre 17 a 30 °C.

Entre los parámetros más importantes en cultivos acuapónicos está el pH, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la nitrificación, encontrándose rangos entre 7.97 a 8.0, superando a lo mencionado por Somerville *et.al.* (2014), señalando que los valores de pH deben oscilar entre 6 y 7 ya que favorece la actividad biológica de las bacterias nitrificantes y su capacidad de convertir el amoníaco y el nitrito. Así también ha superado a lo encontrado por Cáceres (2013) cuyos valores se encuentran entre 6.1 a 6.3 (Sistema acuapónico con filtro) y 5.2 a 6 (Sistema acuapónico sin filtro). Y sobrepasa a lo recomendado por Nelson (2007) que indica un pH de 7 garantiza un funcionamiento correcto o Gilsanz, J, (2007) que menciona que entre los valores de pH

de 5.5-7, se encuentra la mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. Fuera de este rango las formas en que se pueden encontrar los nutrientes resultan inaccesibles para ser absorbidos por la planta.

Un factor importante es la luminosidad para la lechuga, a diferencia de otros estudios este ensayo se desarrolló a nivel de laboratorio, por tanto se utilizó luz artificial en todos los tratamientos y se trabajó con fluorescentes de 40 watts a una capacidad de 1000 lux, muy escasos para este tipo de plantas que necesitan de luz para desarrollar sus hojas y tallos. (Vásquez, J., 2015) Los niveles de iluminación óptimos para las plantas de lechuga son de 12000 a 30000 lux diarios; incluso Navarro, V. (2013) menciona que para la germinación de otras plantas como la *Solanum tuberosum* (papa) son necesarios 3 tubos de fluorescentes de 36 watts cada uno aportando valores de 2940 lux. Grazia, *et.al.* (2001), utilizó diferentes porcentajes de radiación, un 65% de sombra, un 35% de sombra y sin sombra, resultando en crecimiento en los tratamientos de 35% de sombra y sin sombra, pero en el tratamiento de 65% la tasa de crecimiento disminuyó independientemente de la concentración de nutrientes que se les agregó. Resultando en un factor importante para el bajo crecimiento de la plantas y los diferentes síntomas que presentaron como tallos alargados y sin color, hojas amarillentas y un crecimiento débil y lento.

Durante el experimento los valores de amoníaco en todos los tratamientos fueron similares, dando como valores de amoníaco  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$  en todos los tratamientos, según Candarle (2006), valores mayores de  $2 \text{ mg/L}^{-1}$  son tóxicos para los peces y para las colonias de bacterias; pero cuando su concentración es mayor de  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ , podría constituirse como un indicador de contaminación por aguas residuales domésticas o industriales Covarrubias & Velazco (2011). Por otro lado los valores de nitritos se encontraron en 3.3 al inicial el experimento lo que denotaría una lenta nitrificación en el filtro, y la mortalidad de los peces al iniciar el experimento.

La dureza general no presento diferencias significativas entre los tratamientos, obteniendo valores de 90 a  $124 \text{ mg/L}^{-1}$  ( $\text{CaCO}_3$ ) siendo ligeramente dura, y manteniéndose estos valores constantes durante todo el experimento, resultando óptimos para el sistema, sin embargo el Fe, K y Ca derivado del alimento de los peces, son insuficientes para la producción hidropónica vegetal y deben suplementarse

adicionándolos al sistema Rakocy, *et.al.* (1998). Sin embargo si hubo diferencias significativas en la dureza carbonatada para los tratamientos de 250 alevines  $m^{-3}$  y 300 alevines  $m^{-3}$  siendo superiores al tratamiento de 200 alevines  $m^{-3}$ , según Candarle (2006) se considera apropiado mantener una concentración de entre 60-140  $mg/L^{-1}$   $CaCO_3$  para un sistema acuapónico y que está muy bien relacionado a una excelente capacidad tamponadora, sin embargo según Morales (2004) menciona que por encima de pH 7 el riesgo de precipitación de calcio y magnesio en forma de carbonatos, ( $CaCO_3$  y  $MgCO_3$ ), es muy alto. En resumen, en el rango de pH 5.0-6.5, la mayoría de los nutrientes está en forma directamente asimilable para las plantas, por encima de pH 6.5 la formación de precipitados puede causar problemas y por debajo de pH 5 puede verse deteriorado el sistema radical.

En los tratamiento de 250 alevines  $m^{-3}$  y 300 alevines  $m^{-3}$  las concentraciones de fosfato fueron significativamente superiores al tratamiento de 200 alevines  $m^{-3}$  a partir del día 21, este aumento se debió al incremento de alimento para los diferentes tratamientos, encontrando valores elevados de fosfatos en tratamientos donde hay mayor cantidad de organismos, además según Morales (2004) por encima de pH 6.5, la disponibilidad del fósforo y el calcio pueden decrecer considerablemente debido al predominio de la forma  $HPO_4$  (que forma precipitados insolubles en contacto con el calcio) sobre la forma  $H_2PO_4$  (que forma compuestos muy solubles con el calcio). Por tanto se pueden registrar valores altos de nutrientes pero que no pueden ser asimilados debido a pH altos.

Al inicio del trabajo el oxígeno en el tratamiento de 200 alevines  $m^3$  estuvo en  $5.71 \pm 0.18^a$ , 250 alevines  $m^3$   $5.62 \pm 0.12^a$  y 300 alevines  $m^3$   $5.69 \pm 0.14^a$ , descendiendo gradualmente y registrando valores de  $4 mg/L^{-1}$  al final del trabajo. Según Bautista-Covarrubias, J.C. & J.M. Velazco-Arce. (2011), para el cultivo de tilapia es recomendable que la cantidad de oxígeno no sea menor a 5 ppm. Y Chamorro *et.al.* (2016) recomienda una concentración igual o mayor a  $5 mg/L^{-1}$ , tanto para plantas como para peces, debido a que estos últimos lo necesitan para sobrevivir y crecer; también las raíces de las plantas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, ya que previene la pudrición de las raíces, al estar sumergidas durante el paso de ésta a través del sistema hidropónico. Por ello Morales,

V. (2004) recomienda caudales de más de 2 litros por minuto para una buena oferta de oxígeno, agua y nutrientes en las raíces de las plantas.

Los cultivos acuapónicos son importantes por tener una mayor producción por metro cuadrado de terreno de cultivo acuapónico que en un cultivo tradicional. Teniendo que en un cultivo acuapónico se produce un 100% más de biomasa a comparación del cultivo tradicional. Con respecto a los cultivos tradicionales han producido mayores ingresos debido al ahorro de fertilizantes, tierras de cultivo, plaguicidas, agua y por obtener dos ingresos por plantas y peces. Así mismo permite el control de plagas por el uso de métodos de control natural con el fin de no contaminar las hortalizas ni variar sus nutrientes, esto iría de la mano con la conservación del medio ambiente.

## V. CONCLUSIONES

- La producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluente del cultivo de *O. niloticus* a 200, 250 y 300 peces m<sup>-3</sup> no presento diferencias significativas entre los tratamientos para longitud, talla y diámetro de la hoja en *L. sativa*.
- La tasa de crecimiento (TC) y tasa específica de crecimiento (TEC), no se encontró diferencia significativa ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos de *L. sativa* pero si en el parámetro peso de *L. sativa* en el tratamiento de 300 peces m<sup>-3</sup>
- La producción acuapónica de *L. sativa* utilizando efluente del cultivo de *O. niloticus* a 200, 250 y 300 peces m<sup>-3</sup> no presento diferencias significativas entre los tratamientos para la biomasa en *L. sativa*.
- No se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en los porcentajes de mortalidad de *L. sativa* entre los tratamientos.
- En el tratamiento de 300 peces m<sup>-3</sup> se obtuvo la mayor biomasa de *O. niloticus* (94.27g) en relación a los tratamientos de 250 peces m<sup>-3</sup> (68.87g) y de 200 peces m<sup>-3</sup> (64.33g), existiendo diferencia significativa entre estos ( $p>0.05$ ).
- No se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en los porcentajes de mortalidad de alevines de *O. niloticus* entre los tratamientos.
- Los valores de temperatura se encontraron entre 23.5 a 24 °C necesitando las plantas de *L. sativa* (lechuga) temperaturas de 14 a 18°C en etapa de crecimiento y en el caso de los peces y bacterias necesitan temperaturas entre 17 a 30 °C.
- Los valores de pH se encontraron entre 7.97 a 8, necesitando las plantas de *L. sativa* (lechuga) valores de 5.5 a 7 para una mayor disponibilidad de nutrientes.
- Las concentraciones de oxigeno se encontraron entre 4 y 5 mg/L<sup>-1</sup> necesitando las lechugas y los peces valores mayores a 5 mg/L<sup>-1</sup> debido a que estos últimos lo necesitan para crecer y sobrevivir.

- Las concentraciones de nitratos se encontraron entre  $110 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de entrada al sistema y entre  $50$  a  $110 \text{ mg/L}^{-1}$  en el agua de salida, necesitando los peces valores no mayores a  $80 \text{ ppm}$  para su crecimiento.
- Las concentraciones de nitritos en el día 0 se encontraron entre  $3.3 \text{ mg/L}^{-1}$ , necesitando los peces valores no mayores a  $1 \text{ mg/L}^{-1}$  por ser toxico.
- Las concentraciones de amoniaco se encontraron en  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$  en todos los tratamientos necesitando los peces valores no mayores a  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ . por ser toxico para ellos y para las colonias de bacterias.
- Las concentraciones de fosfato al día 0 se encontraron en  $0.1 \text{ mg/L}^{-1}$ , elevándose en los tratamientos de  $250$  y  $300 \text{ peces m}^{-3}$ , debido a la elevada concentración de nutrientes en estos tratamientos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Evaluar las variaciones de parámetros de crecimiento en las diferentes clases de lechuga y en otras especies de plantas de rápido crecimiento con la finalidad de establecer sus mejores metodologías de cultivo
- Evaluar tratamientos similares al aire libre y realizar comparaciones con los tratamientos en laboratorio para medir costos y beneficios en estos cultivos.
- Es importante utilizar luz artificial como luces LED, que a pesar de sus costos no produce altas temperaturas y también es utilizado para el crecimiento de plantas en sistemas acuapónicos a nivel de laboratorio.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera-Morales, M.E., F. Hernández, Mendieta, E & C. Herrera. 2012. Producción integral sustentable de alimentos. Vol. 8. México, Sinaloa. Pp 71-74.
- Alder, P., S, Summerfelt; Glenn, D. & F, Takeda. 2003. Mechanistic approach top hy tore mediation of wate. 20:251-264p.
- Alpizar-Antillon, L. 2008. Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 108p.
- Arriaza & Martínez. 2009. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Informe de Tesis de Título Ingeniero Agropecuario. Zamorano, Honduras. 27 p.
- Bautista-Covarrubias, J.C. & J.M. Velazco-Arce. 2011. Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. Revista Fuente Año 3 No. 8: 10-14p.
- Buzby, K.M. & L. Lin. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*. 63:39-44p.
- Cáceres, D.I. 2013. Efecto del agua residual del cultivo de *Oreochromis niloticus* “tilapia” sobre el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico continuo. Informe de Tesis de Título Profesional de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú. 27p.
- Candarle, P. 2006. Técnicas de acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura. Pp 14-20.
- Cantor, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, México. 140p.

- Carrasco, D, & Izquierdo. 1996. La empresa hídronica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Talca, Chile. Pp 14-20.
- Cássteres, E. 1984. Producción de hortalizas. 3a. edic 2da. reimp. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 387p.
- Castelán, G. 2015. Inhibición de bacterias oxidantes de nitritos en biopelícula de biofiltro para tratamiento de aguas residuales. México. Pp 9-10.
- Cervantes-Santiago. 2015. Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados del cultivo de tilapia en un sistema acuapónico. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 3(7):63-73. Vol. 3. Veracruz, México.
- Chamorro-Legarda, E., C, Guerrero-Romero. & Arellano, E. 2016. Producción de lechuga y Arawana amazónica en sistema acuapónico. Colombia. pp 37-41.
- CICESE. 2008. Producción integral sustentable de alimentos. Sinaloa, México. 71 –74p.
- FAO. 2013. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y La Alimentación. Roma, Italia. 251p.
- Frías, M. 2012. Propagación y técnicas de cultivo de la Lechuga (*Lactuca sativa*)". Guanajuato, México. pp 2.
- Galli, M. & F.M. Sal. 2007. Sistema de recirculación y tratamiento de agua. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos-CENADAC. Corrientes, Argentina. 37p.
- García-Ulloa. 2004. Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. Avances en investigación agropecuaria. Pp 1-5.

- Garzón-López. 2006. Evaluación del rendimiento de tres variedades de lechuga bajo el sistema NFT (Nutrient Film Technique) de hidroponía con dos soluciones de nutrientes. Tesis de Licenciatura. Universidad Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 37 pp
- Gilsanz, J. 2007. "Hidroponico". Montevideo, Uruguay. 15p.
- Grazia, J., P.A, Tittonel & A.Chiesa. 2001. Efecto de la época de siembra, radiación y nutrición nitrogenada sobre el patrón de crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). vol. 16. Argentina. Pp 359-362.
- Hernández, J. 1993. *Olericultura*. E.U.N.E.D. San José, Costa Rica. 340p.
- Hurtado, N. 2003. La tilapia roja en el Perú. *Revista AquaTic*.19:41-52p.
- Mateus, J. 2009. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red de hidroponía, Boletín N° 44. Lima, Perú. 7-10pp.
- Mojica, F. 2010. Prospectivo del sistema-producto nacional de tilapia en México. Sinaloa, México. Pp 5-16.
- Morales, D.A. 1991. La tilapia en México, biología, cultivo y pesquerías. A.G.T. Editor S. A. México. 190p.
- Morales, B. 2004. Producción de hortalizas bajo sistemas hidropónicos, técnica de la película de nutriente (NFT) y cama de agua. Chapingo México. Pp 1-111.
- Moreno, E & A, Zafra. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Trujillo, Perú. Pp. 1-13.
- Muños, M. 2012. Sistemas de recirculación acuaponicos. Bogotá, Colombia. 123-129pp.

- Navarro, V. 2013. Análisis de la utilización de luz emitida por lámparas de diodo (LEDs) en la producción in vitro para la obtención de semilla pre básica de *Solanum tuberosum*. Argentina. 5p.
- Nelson, M. 2007. Acuaponía. Nelson/Pade Multimedia. Montillo, WI. USA. 15 pp.
- Rakocy, J.; Shultz, R.; Bailey, D. & Thoman, E. 2004. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. P: 648:63-69.
- Rakocy, J.E., D, Bailey & J.M, Martin. 1988. Tilapia production systems for the Lesser Antilles and other resource-limited tropical areas. USA. 99p.
- Racocy, J. 1999. The status of aquaponics, Part 1. *Aquaculture Magazine*. 25(4):83-88p.
- Ramírez, D., D, Sabogal & Gomez-Ramirez, E. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. Volumen 5. USA. pp. 161-168.
- Rodríguez-González, H., S. G, Rubio-Cabrera & Garcia-Ulloa, M. 2015. Análisis técnico de la producción de tilapia (*oreochromis niloticus*) y lechuga (*lactuca sativa*) en dos sistemas de acuaponía. *Agro productividad*. (3):15-19 pp.
- Ross, L. G. 2000. Environmental physiology and energetics. *In*: M. C. M. Beveridge and B. J. Mc. Andrew (eds.) *Tilapias: Biology and Exploitation, Fish and Fisheries 11Series 25*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 89-128pp.
- Rubio, S. G. 2012. Análisis técnico de producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y lechuga acrópolis *Lactuca sativa*. Guasave, Sinaloa; México. Pp23-73.
- Runjaic-Rojas, B., D.A, Perdomo & D.E, Garcia. 2011. Rendimiento en canal y fileteado de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) variedad Chitralada producida en el estado Trujillo, Venezuela. 29(1): 113-126 pp.
- Somerville, C.; M. Cohen; E. Pantanella; A. Stankus & A. Lovatelli. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589*. Roma: FAO. 262-288 pp

- Stover, S. 2009. Acuaponía: Técnica de producción superintensiva. Revista digital Hortalizas. 15pp.
- Tindall, H.D. 1993. *Vegetables in the Tropics*. Macmillan International College. 3rd. Edition. London, U.K. 533p.
- Tyson, R.V.; D.D. Treadwell & E.H. Simonne. 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Hortechonology*. 21:6 -13.
- Vásquez, R. 2015. Evaluación agronómica de cinco variedades de lechuga (lactuca sativa) en tres ciclos de siembra consecutivos, en San Miguel de la tigua, San Carlos, Alajuela. Costa Rica. 11p.

## ANEXO

### ANEXO 1. *Oreochromis niloticus* “tilapia gris” (línea chitralada)



### ANEXO 2. *Lactuca sativa* “lechuga”



### ANEXO 3. Diseño NFT de un sistema acuapónico





**ANEXO 4.** Alimento comercial para los alevines de tilapia



**ANEXO 5.** Registro biométrico de tilapias y lechugas



**ANEXO 6.** Medición de lux de los fluorescentes usados en el tratamiento



**ANEXO 7.** Análisis químico del agua de los peces de *O. niloticus*

