

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA  
Y ZOOTECNIA**



**Evaluación del sistema de recirculación de agua en la  
crianza de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en la costa de  
la región La Libertad**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**JOSÉ LUIS LOZADA FARÍAS**

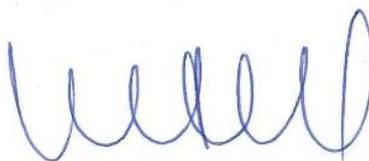
**TRUJILLO, PERÚ**

**2019**

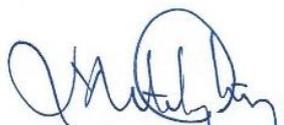
La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:



M.V. Mg. César Lombardi Pérez  
PRESIDENTE



Ing. MSc. Mario Narro Saldaña  
SECRETARIO



M.V. Mg. Ciro Meléndez Tamayo  
VOCAL



Ing. Dr. Wilson Castillo Soto  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír en todos mis logros que son resultado de tus bendiciones.

A mis padres por su preocupación día a día, a mi madre por su apoyo incondicional en todo lo que hago, por acompañarme en cada larga y agotadora madrugada de estudio y trabajo. A mi padre por fortalecerme con cada consejo brindado.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios por guiarme y protegerme en cada paso que doy.

A mis padres, Liliana Farías y José Lozada por enseñarme a ser fuerte y hacer lo correcto.

A mi asesor, Dr. Wilson Castillo Soto, por su excelente orientación y apoyo para la finalización de mi trabajo.

También es justo expresar mi agradecimiento a los amigos que me apoyaron de muchas formas para armar el experimento.

Y finalmente expresar mi gratitud a cada docente de la escuela Medicina Veterinaria y Zootecnia por cada consejo brindado.

## ÍNDICE GENERAL

	Página
CARATULA .....	i
TESIS APROBADA POR JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	1
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA .....	3
2.1. La Tilapia .....	3
2.1.1. Biología de la especie .....	4
2.1.2. Nutrición .....	5
2.1.3. Alimentación.....	8
2.1.4. Condiciones y parámetros del agua de cultivo .....	10
2.2. Acuaponía.....	16
2.2.1. Acuaponía con “Lechuga” ( <i>Lactuca sativa</i> ) .....	17
2.3. Sistema de crianza de tilapia con recirculación de agua .....	17
2.3.1. Remoción de sólidos .....	18
2.3.2. Biofiltración.....	19
2.3.3. Aireación u Oxigenación.....	20
2.3.4. Desgasificación .....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	22
3.1. Lugar de ejecución.....	22
3.2. Instalaciones.....	22
3.3. Descripción del sistema de recirculación de agua (SRA) .....	23

3.4. Activación, funcionamiento y evaluación del SRA .....	24
3.5. Animales y alimentación .....	24
3.6. Tratamientos .....	26
3.7. Variables dependientes .....	27
3.7.1. Indicador de performance.....	27
3.7.2. Indicadores físico-químicos del agua .....	27
3.8. Manejo de los tanques y control de la calidad del agua.....	27
3.9. Análisis estadístico .....	27
IV. RESULTADOS .....	29
4.1. Calidad de agua.....	29
4.2. Desempeño productivo .....	30
V. DISCUSIÓN .....	32
5.1. Calidad de agua.....	32
5.2. Valores productivos .....	34
5.2.1. Ganancia de peso .....	34
5.2.2. Consumo de alimento.....	35
5.2.3. Conversión alimenticia .....	35
VI. CONCLUSIONES.....	37
VII. RECOMENDACIONES .....	38
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	39
IX. ANEXOS .....	46

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Requerimientos de proteína para tilapia .....	7
Cuadro 2. Requerimientos nutricionales para tilapias .....	8
Cuadro 3. Ración alimenticia dependiendo del peso .....	9
Cuadro 4. Tasa de alimentación para la tilapia .....	9
Cuadro 5. Frecuencia de alimentación de tilapias.....	10
Cuadro 6. Composición porcentual y nutricional de las dietas para tilapia durante la fase de engorde. ....	26
Cuadro 7. Promedios de variables relacionadas a calidad de agua en función al sistema de crianza (durante los 60 días de evaluación).....	29
Cuadro 8. Promedios de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de tilapias de acuerdo con el sistema de crianza (a 30 días de evaluación). ....	30
Cuadro 9. Promedios de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de tilapias de acuerdo con el sistema de crianza (a 60 días de evaluación). ....	31
Cuadro 10. Promedios de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de tilapias de acuerdo con el sistema de crianza (promedio de 60 días de evaluación).....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Componentes del SRA: (A: 3 Tanques de cría de peces, B: Sistema de Recirculación y Filtro, C: Filtro de sólidos, D: Biofiltro de plantas y lecho. E: Bomba, F: Punto de medición salida, G: Punto de medición entrada, H: Recambio de agua) y dirección del flujo de agua a través del sistema. ....	24
--	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Cuadro resumen controles de peso.....	46
Anexo 2. Mediciones de Nitritos.....	47
Anexo 3. Mediciones de Nitratos. ....	48
Anexo 4. Mediciones de Oxígeno Disuelto. ....	49
Anexo 5. Mediciones de pH. ....	50

## RESUMEN

La presente investigación tiene como finalidad generar tecnologías en la crianza de tilapia (*Oreochromis niloticus*) que permita concentrar la producción en áreas pequeñas de terreno, economizar el uso de agua, facilitar el control de la calidad de agua y elevar la producción por área utilizada; mediante un sistema de recirculación de agua en simbiosis con un cultivo acuapónico, donde se evaluó el sistema de crianza de tilapias (sistema abierto contra sistema de recirculación de agua) sobre la calidad del agua y el comportamiento productivo. Esto es necesario debido a que en nuestra región existen crianzas de tilapia en el sistema tradicional que requiere de grandes cantidades de agua y grandes extensiones de terreno, siendo una crianza costosa y poco productiva a este nivel. Para esta investigación se hizo uso de la unidad diseñada para experimentación en peces, ubicada en el Campus II de la Universidad Privada Antenor Orrego, donde se tuvo tres módulos de evaluación, uno de sistema abierto y dos de sistema de recirculación de agua (SRA) a 5 kg/m<sup>3</sup> y 10 kg/m<sup>3</sup>, los dos módulos de SRA consistían de tres tanques acoplados al sistema de filtración tanto físico como biológico con cultivo de cama de plantas (lechugas). Los resultados obtenidos en el promedio de los 60 días de evaluación dieron los siguientes resultados, para ganancia de peso: SA (77.97 g), SRA5 (72.40 g) y SRA10 (41.70 g), consumo de alimento: SA (193.16 g), SRA5 (263.45 g) y SRA10 (218.22 g) y conversión alimenticia: SA (2.40 g), SRA5 (3.20 g) y SRA10 (5.32 g). Determinando que dentro del sistema de recirculación de agua no solamente se puede contar con el lecho de lechugas como filtro biológico, sino que es necesario el uso de uno específico para esta función, para la reducción de cuerpos nitrogenados, además que es necesario tener agua de recambio dentro de los niveles aceptables de dureza, en caso contrario se tienen resultados no óptimos y poco productivos.

## ABSTRACT

The purpose of this research is to generate technologies in the tilapia breeding (*Oreochromis niloticus*) that allows concentrating production in small areas of land, economizing the use of water, ease in the control of water quality and high production per area used; by means of a water recirculation system in symbiosis with an aquaponic crop, where the tilapia rearing system (open system against water recirculation system) was evaluated on the water quality and the productive behavior. This is necessary because in our region there are tilapia breeding in the traditional system that requires large amounts of water and large tracts of land, being a costly and unproductive breeding at this level. For this research was made use of the unit designed for experimentation in fish, located on Campus II of the Antenor Orrego Private University, where there were three evaluation modules, one open system and two water recirculation system (SRA) At 5 kg / m<sup>3</sup> and 10 kg / m<sup>3</sup>, the two SRA modules consisted of three tanks coupled to the physical and biological filtration system with plant bed culture (lettuce). The results obtained in the average of the 60 days of evaluation gave the following results, for weight gain: SA (77.97 g), SRA5 (72.40 g) and SRA10 (41.70 g), food consumption: SA (193.16 g), SRA5 (263.45 g) and SRA10 (218.22 g) and feed conversion: SA (2.40 g), SRA5 (3.20 g) and SRA10 (5.32 g). Determining that within the water recirculation system not only the lettuce bed can be counted as a biological filter, but it is necessary to use a specific one for this function, for the reduction of nitrogen bodies, besides it is necessary to have water from replacement within the acceptable levels of hardness, otherwise there are no optimal results and little productive.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la acuicultura a nivel mundial se realiza a través de sistemas de explotación semiintensivos e intensivos, requiriendo del suministro de condiciones ambientales estables y cantidades considerables de alimentos (Tacon, 1989).

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es un pez introducido y adaptado a las condiciones tropicales del Perú. Su cultivo se ha desarrollado en la selva alta y en la costa norte, aprovechándose las represas y los cultivos en jaulas (Mendoza, 2011). Por otro lado, la piscicultura en sistemas intensivos es una técnica relativamente barata y simple, comparada con los otros sistemas, consolidándose como un buen rubro económico de producción de alimentos buscando obtener máxima producción de peces por área, usando dietas balanceadas, además de tener una mayor cantidad de peces producidos eficientemente por volumen de un área. (Marengoni, 2006).

En nuestra región se desarrollan algunas crianzas de tilapia en el sistema tradicional que requiere de grandes cantidades de agua y grandes extensiones de terreno, sin embargo a falta de estas exigencias su expansión se ve limitada, para lograr la sustentabilidad de nuevas crianzas es necesario intensificar los cultivos, valiéndose de tecnología como los sistemas de recirculación de agua (SRA), presentándose como una alternativa de solución para los problemas que deben afrontarse en acuicultura, como los impactos ambientales, tecnología apropiada y el control de enfermedades.

El SRA permite el cultivo de peces a mayor intensidad, el agua circula a través del sistema, y solamente un pequeño porcentaje de agua es reemplazado diariamente. La temperatura, salinidad, pH, alcalinidad,

composición química y el oxígeno son monitoreados y controlados. Los residuos sólidos son filtrados y removidos, el efluente es tratado en biofiltro para la conversión biológica del nitrógeno amoniacal a nitrato, este sistema permite el control constante de variables fisicoquímicas y sanitarias del agua, la reutilización del agua, producciones de altas densidades, aunque es necesario de un alto costo de inversión y mano de obra calificada (Timmons y otros, 2002).

Actualmente se viene desarrollando en nuestra región la investigación en la cría de tilapia en sistema abierto, demostrando que es posible la adaptación, sin embargo, la implementación del SRA se ve limitado por los costos elevados de los equipos comerciales que componen este sistema como filtros y aireadores.

Es por ello, que planteamos la alternativa de diseñar filtros contruidos de manera artesanal con materiales disponibles que, además de ser económicos, cumplan con las exigencias de purificar el agua para mantener su calidad de manera que permita el crecimiento de los peces. De demostrarse que el sistema implementado con los filtros artesanales funciona, entonces estaremos dando alternativas a los criadores para que en menor área de terreno y con el uso de menor cantidad de agua puedan desarrollar la crianza de tilapias en forma intensiva.

## II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

### 2.1. La Tilapia

Baltazar y Palomino (2004), indica que la tilapia como, pez endémico originario de África y el Cercano Oriente, del cual se aprovechó sus características consideradas ideales para la piscicultura rural, iniciando su progresivo cultivo en el ámbito mundial. Estos peces han sido introducidos en forma acelerada hacia otros países tropicales y subtropicales en todo el mundo. La acuicultura de la tilapia en el Perú aún es incipiente a comparación de otros países de Latinoamérica.

La institución SAGARPA (2006), define también a la tilapia como un grupo de peces de origen africano, que habitan principalmente en regiones tropicales del mundo, donde existen las condiciones necesarias para su reproducción y crecimiento. Agregando que, en comparación con otros peces, posee extraordinarias cualidades para el cultivo, como: crecimiento acelerado, tolerancia a altas densidades, adaptación a cautiverio, aceptación de una amplia gama de alimentos, alta resistencia a enfermedades, además de contar con algunos atributos para el mercado, como: carne blanca de buena calidad, buen sabor, poca espina, buena talla y precio accesible, que le que le confiere una preferencia y demanda comercial en la acuicultura mundial.

NICOVITA (2002), además complementa con que es un pez de buen sabor y crecimiento rápido, se puede cultivar en estanques y en jaulas, soporta altas densidades, resiste condiciones ambientales adversas, tolera bajas concentraciones de oxígeno y puede ser manipulado genéticamente. En la actualidad a nivel mundial, se cultivan con éxito unas diez especies, siendo uno de los peces más ampliamente producidos en el mundo. Las especies más cultivadas son *O. aureus*, *O.*

*niloticus* y *O. mossambicus*, así como varios híbridos de éstas especie; siendo *O. aureuscom* o *O. niloticus*, las que crecen más rápido y alcanzan mayor tamaño que *O. mossambicus*; aunque requiriendo un mayor tamaño para su reproducción, además de tener un alto porcentaje de masa muscular, filete grande, ausencia de espinas intramusculares, crecimiento rápido, adaptabilidad al ambiente, resistencia a enfermedades, excelente textura y coloración de carne, con muy buena aceptación en el mercado.

### **2.1.1. Biología de la especie**

Según Calderón (2018), es una especie apta para ser cultivada en zonas tropicales y subtropicales, donde la temperatura del agua oscila entre 24°C a 32°C. Debido a su naturaleza híbrida, puede adaptarse con facilidad a ambientes lénticos, estanques, lagunas, reservorios y en general a medios confinados.

NICOVITA(2002), indica que estos peces su habitad es en aguas cálidas 25°C a 34°C, aguas lénticas, llegando alcanzar en estas condiciones de 1 a 3 kg de peso adulto, su edad de madurez sexual es en machos de 4 a 6 meses y en hembras de 3 a 5 meses, el número de desoves es de 5 a 8 veces al año, con una temperatura de desove de 25°C a 31°C (no mayor), con un número de huevos por hembra por desove en buenas condiciones mayor de 100 huevos hasta un promedio de 1500, dependiendo de la hembra, donde la vida útil de los reproductores es de 2 a 3 años, con una incubación de tipo bucal, con un tiempo de incubación de 3 a 6 días, necesitando una proporción de siembra de reproductores de 1.5 a 2 macho por cada 3 hembras, con un tiempo de cultivo de 7 a 8 meses, cuando se alcanza un peso comercial de 300 gramos.

Baltazar y Palomino (2004), complementa con que las tilapias viven en aguas estancadas o con poca corriente y encuentran refugio en las márgenes de los pantanos y riberas bajo el ramaje entre piedras y raíces de plantas acuáticas. Son de hábitos territoriales particularmente durante la temporada de reproducción. Su territorio se observa claramente definido y defendido de los depredadores e intrusos que atacan a sus crías y puede ser fijo o desplazarse a medida que las crías nadan en busca de alimento. Para reproducirse necesitan temperaturas superiores a los 20 °C. El número de huevos por desove, como el tamaño de los huevos es proporcional al peso corporal de la hembra. La hembra de la especie *Oreochromis niloticus* incuba sus huevos y las crías en la boca, los machos permanecen en el área de nidación, delimitando y protegiendo su territorio. Es necesario tomar en cuenta que las tilapias alcanzan su madurez sexual a un tamaño pequeño y a una edad temprana, donde en la fase de engorde, los peces empezarán a reproducirse en el estanque, esta reproducción no deseada, interferiría con el desarrollo normal de los peces sembrados originalmente en el estanque (una sobrepoblación del estanque provoca un "enanismo" general de los peces) y reduciría la rentabilidad del cultivo.

### **2.1.2. Nutrición**

SAGARPA (2006), sustenta que la especie *O. nilóticos*, posee tendencia para hábitos alimenticios omnívoros. Las adaptaciones estructurales a este tipo de dieta son principalmente un largo intestino muy plegado, dientes bicúspides o tricúspides sobre las mandíbulas y la presencia de dientes faríngeos, que utilizan para poder cortar y rasgar todo tipo de alimento incluyendo plantas y hojas fibrosas.

Saavedra (2006), complementa que el género *Oreochromis* se clasifica como omnívoro, por presentar mayor diversidad en los alimentos

que ingiere, variando desde vegetación macroscópica hasta algas unicelulares y bacterias, tendiendo hacia el consumo de zooplancton. Las tilapias son peces provistos de branqui-espinas con los cuales los peces pueden filtrar el agua para obtener su alimentación consistiendo en algas y otros organismos acuáticos microscópicos. Los alimentos ingeridos pasan a la faringe donde son mecánicamente desintegrados por los dientes faríngeos. Esto ayuda en el proceso de absorción en el intestino, el cual mide de 7 a 10 veces más que la longitud del cuerpo del pez. Una característica de la mayoría de las tilapias es que aceptan fácilmente los alimentos suministrados artificialmente. Para el cultivo se han empleado diversos alimentos, tales como plantas, desperdicios de frutas, verduras y vegetales, semillas oleaginosas y cereales, todos ellos empleados en forma suplementaria. La base de la alimentación de la tilapia la constituyen los alimentos naturales que se desarrollan en el agua y cuyo contenido proteico es de un 55% (peso seco) aproximadamente.

Baltazar y Palomino (2004), define que la tilapia es omnívora y su requerimiento y tipo de alimento varían con la edad del pez. Durante la fase juvenil pueden alimentarse tanto de fitoplancton, zooplancton así como de pequeños crustáceos. En detalle de los nutrientes a necesitar:

- Proteínas, son los nutrientes más importantes para la vida y el crecimiento del pez. Para la alimentación de los peces en su diferente estadio, se debe tener en cuenta el nivel de proteína con el que se obtiene el máximo crecimiento. Asimismo, a medida que avanza el cultivo, este nivel de proteína que produce máximo crecimiento disminuye con el incremento del peso del pez.

Cuadro 1. Requerimientos de proteína para tilapia

<b>Fase</b>	<b>Nivel de proteína (%)</b>
Precría	45
Crecimiento	40
Engorde	28 – 32
Reproductores	35

Fuente: Adaptado de Baltazar y Palomino (2004).

- Lípidos, en el alimento para tilapia tienen dos funciones principales: como recurso de energía metabólica y como recurso de ácidos grasos esenciales, constituyen el mayor recurso energético (hasta 2.25 veces más que la proteína), y están muy ligados al nivel de proteína en la dieta. Así, para niveles de 40% de proteína se recomienda niveles de grasa de 6 a 8%. Con 35% de proteína el nivel de grasa es de 4.5 a 6 % y con niveles de 25 a 30% de proteína se recomienda de 3 - 3.5% de grasa. La relación proteína-grasa es crucial para cualquier dieta, un exceso de grasas en el alimento contamina el agua y un nivel insuficiente afecta el crecimiento.
- Carbohidratos, son la fuente más barata de energía en la dieta; además de contribuir en la conformación física del pellet y su estabilidad en el agua. Los niveles de carbohidratos en la dieta de tilapia deben estar alrededor del 40%.
- Vitaminas, la mayoría de las vitaminas no son sintetizadas por el pez, por lo tanto deben de ser suplidas en una dieta balanceada. Las vitaminas son importantes dentro de los factores de crecimiento, ya que catalizan todas las reacciones metabólicas. Los peces de aguas cálidas requieren entre 12 y 15 vitaminas en su dieta. El nivel de vitaminas utilizadas va a variar dependiendo del sistema de cultivo empleado.

- Minerales, son importantes ya que afectan los procesos de osmorregulación (intercambio de sales) a nivel de las células. También influyen en la formación de huesos, escamas y dientes.

Furuya (2010), da como los requerimientos nutricionales, los siguientes valores:

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales para tilapias

<b>Nutriente</b>	<b>Reversión</b>	<b>Post Reversión hasta 100 gr</b>	<b>≥ 100 gr</b>
Energía digestible (kcal/kg)	4007	3036	3075
Proteína bruta (%)	41.30	29.73	26.80
Proteína digestible (%)	38.60	26.81	24.30
Lisina (%)	2.20	1.53	1.38
Metionina (%)	0.75	0.52	0.47
Metionina + Cistina (%)	1.32	0.92	0.83
Treonina (%)	1.70	1.18	1.07

Fuente: Adaptado de Furuya (2010)

### **2.1.3. Alimentación**

Saavedra (2006), indica que es necesario realizar efectos de cálculo de raciones hay diferentes tablas de alimentación, indicando la siguiente:

Cuadro 3. Ración alimenticia dependiendo del peso

<b>Peso promedio del pez (g)</b>	<b>Ración alimenticia (%)</b>
<10	5.00
25	4.50
50	3.70
75	3.40
100	3.20
150	3.00
200	2.80
250	2.50
300	2.30
400	2.00
500	1.70
>600	1.40

Fuente: Adaptado de Saavedra (2006).

Baltazar y Palomino (2004), sostiene que, la cantidad de alimento a suministrar en un sistema está expresado en porcentaje de la biomasa o peso total existente en la unidad de crianza:

Cuadro 4. Tasa de alimentación para la tilapia

<b>Fase</b>	<b>Peso Promedio (g)</b>	<b>Tasa de alimentación (%)</b>
Precría	2 - 50	10 - 15
Crecimiento	50 - 150	6 - 10
Engorde	150 - 300	1.5 - 3

Fuente: Adaptado de Baltazar y Palomino (2004).

Cuya frecuencia de alimentación normalmente se divide en varias raciones estipuladas en la siguiente tabla:

Cuadro 5. Frecuencia de alimentación de tilapias

<b>Fase</b>	<b>Peso Promedio (g)</b>	<b>Frecuencia (Nº Veces)</b>
Precria	2 - 50	8 - 10
Crecimiento	50 - 150	4 - 6
Engorde	150 - 300	3 - 4

Fuente: Adaptado de Baltazar y Palomino (2004).

#### **2.1.4. Condiciones y parámetros del agua de cultivo**

El crecimiento de los peces depende en gran parte de la calidad del agua, siendo necesario mantener las condiciones físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar para lograr una buena producción.

En algunos estudios se reporta que la concentración de minerales influye principalmente en la calidad del agua y los peces se ven afectados a nivel de branquias reduciendo su capacidad respiratoria y metabólica, provocando lento crecimiento que se expresa en bajos rendimientos (Kubitza, 1998). La presencia de sustancias químicas y biológicas disueltas e insolubles en el agua (que pueden ser de origen natural o antropogénico) define su composición física y química. El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, Luz y Santos (2008) reportan que su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o

potencial. Las principales características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad del agua para el cultivo de peces, el origen de los constituyentes, su importancia en la salud, la relación con los principales procesos de tratamiento y los límites de concentración establecidos por las normas de calidad del agua, son importantes tomarlos en cuenta en los procesos productivos.

Sobre la calidad del agua, Cantor (2007) sugirió realizar un completo análisis físico-químico de la fuente de agua escogida, teniendo en cuenta los parámetros y cantidades respectivas que se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Parámetros de la calidad de agua para cultivo de tilapia

Parámetros	Rangos Ideales
Oxígeno disuelto (OD), mg/L	4 a 10
Temperatura, °C	27 a 32
pH	6.5 a 9.0
Dureza (Alcalinidad: CaCO <sub>2</sub> ), mg/L	20 a 350
Magnesio (Mg), mg/L	0 a 36
Manganeso (Mn), mg/L	0 a 0.001
Calcio, mg/L	5 a 160
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ), mg/L	0 a 2.0
Amonio Total, mg/L	Hasta 2.0
Amonio (NH <sub>3</sub> : no ionizado), mg/L	0 a 0.05
Nitratos (NO <sub>3</sub> ), mg/L	0 a 40
Nitritos (NO <sub>2</sub> ), mg/L	0 a 0.1
Fosfatos (PO <sub>4</sub> ), mg/L	0.5 a 1.5
Fósforo total, mg/L	0.01 a 3.0
Fósforo soluble, mg/L	0 a 10
Turbidez (Disco Secchi), cm	30 a 40
Solidos Disueltos, mg/L	0 a 30

Fuente: adaptado de Cantor (2007)

NICOVITA (2002), Hsien-Tsang y Quintanilla (2008), Bautista y Ruiz (2011) y Calderón (2018), detallan cada uno de los parámetros físico-químicos:

#### **2.1.4.1. Oxígeno disuelto**

Es el más importante dentro de los parámetros físico-químicos, donde el grado de saturación del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH. La tilapia es capaz de sobrevivir a niveles bajos de oxígeno disuelto, por la capacidad que tiene su sangre se satura de oxígeno, cuando la presión parcial de éste es baja. En esos casos, la tilapia tiene la facultad de reducir el consumo de oxígeno cuando las condiciones son adversas. Por ello, la tilapia nilótica es capaz de sobrevivir en aguas cuya concentración de oxígeno disuelto es menor de 0.3 mg/l, considerablemente más baja que la requerida por la mayor parte de especies cultivadas.

Aunque la tilapia sea capaz de sobrevivir en condiciones de muy baja oxigenación, estas se ven afectadas cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua descienden, durante períodos prolongados, reduciendo su actividad metabólica, el crecimiento y posiblemente la resistencia a enfermedades, además de provocar estrés, disminuir la tasa de crecimiento, aumentar la conversión alimenticia, producir inapetencia y letargia, causar enfermedades a nivel de branquias, producir inmunosupresión y susceptibilidad a enfermedades, disminuir su capacidad reproductiva. Es importante tomar en cuenta que estos niveles bajos se pueden deber a:

- Descomposición de la materia orgánica.
- Alimento no consumido.

- Heces.
- Animales muertos.
- Aumento de la tasa metabólica por el incremento en la temperatura.
- Respiración del plancton.
- Desgasificación.
- Nubosidad (días opacos las algas no producen suficiente oxígeno).
- Aumento de sólidos en suspensión.
- Densidad de siembra.

Al tener todos estos puntos en contra, para obtener un cultivo exitoso, es necesario un valor de oxígeno disuelto por encima de los 4 mg/l, esto puede lograrse con una buena aireación, mediante forma natural (caídas de agua o cascadas) o mecánica (motobombas, difusores, aireadores de paleta, aireadores de inyección de O<sub>2</sub>, generadores de oxígeno líquido). Una buena aireación permite incrementar las densidades de siembra hasta un 30% y manejar densidades más altas por unidad de área, además de compensar los consumos de oxígeno demandados en la degradación de la materia orgánica, manteniendo niveles más constantes dentro del cuerpo de agua.

#### **2.1.4.2. Temperatura**

Es el factor que afecta directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor es la tasa metabólica (cantidad de energía necesaria para mantener el organismo en estado de reposo absoluto) y, por ende, es el mayor consumo de oxígeno, esto debido a que los peces son animales poiquilotermos (su temperatura corporal depende de la temperatura del medio) y altamente termófilos (dependientes y sensibles a los cambios de la temperatura). Los rangos

óptimos de temperatura oscilan entre 27–32°C, siendo la óptima 28-31°C, pudiendo soportar temperaturas más bajas, pero no menores de 25°C debido a que su tasa crecimiento se reduce, además cuando la temperatura desciende hasta valores por debajo de 17°C se interrumpe su alimentación.

En cuanto a la fase de crecimiento, se ha constatado que logra crecer, tres veces más rápido, si vive en un rango óptimo de temperatura situado a 32°C. Además, es el factor externo que más influye en la regulación del ciclo reproductivo, siendo el rango de 24 a 30°C para la reproducción de la especie, en condiciones controladas, la tasa reproductiva óptima es entre 27 y 30°C. Por el contrario, a temperaturas debajo de los 20°C, toda actividad reproductiva queda suspendida.

Es necesario tomar en cuenta que el efecto negativo sobre el crecimiento del pez cultivado, que pudiera originar las variaciones grandes de temperatura entre el día y la noche, podría subsanarse con el suministro de alimentos con porcentajes altos de proteína (30%, 32%, etc.).

#### **2.1.4.3. Dureza**

Es la medida de la concentración de los iones de Calcio y Magnesio expresadas en partes por millón (ppm) de su equivalente a Carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>).

Existen aguas blandas (< 100 ppm CaCO<sub>3</sub>) y aguas duras (>100 ppm CaCO<sub>3</sub>). Alcalinidades superiores a los 175 ppm CaCO<sub>3</sub> resultan perjudiciales, ya que se producen formaciones calcáreas, que pueden dañar las branquias de los peces. Durezas por debajo de 20 ppm ocasionan problemas en el porcentaje de fecundidad. El rango de dureza

que pueden soportar las tilapias es entre 20-350 ppm  $\text{CaCO}_3$ , siendo 75 ppm, el valor óptimo. Aunque está estrechamente relacionada con la alcalinidad y la capacidad del agua para resistir cambios en el pH, una alta alcalinidad no necesariamente representa una alta dureza.

#### **2.1.4.4. pH**

Es la concentración de iones de hidrógeno en el agua, el rango óptimo está entre 6.5 a 9.0, debe de ser neutro o lo más cercano a él, valores superiores o inferiores a estos, causan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, se retarda su crecimiento y retrasa su reproducción. Además, valores de 5.0 o menor producen mortalidad en un período de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias, pérdidas de pigmentación e incremento en la secreción de mucus de la piel, esto debido a que niveles de pH ácidos, el ion hierro se vuelve soluble afectando las células de los arcos branquiales y por ende, disminuyendo los procesos de respiración, causando la muerte por anoxia. Por el contrario, un valor mayor a 11.0 transforma el amonio en amoniaco toxico provocando alzas en la mortalidad. El pH del agua es principalmente influenciado por la concentración de  $\text{CO}_2$ , por la densidad del fitoplancton, la alcalinidad total y la dureza del agua.

#### **2.1.4.5. Nitritos**

Parámetro de vital de gran importancia por ser un poderoso agente contaminante y su alta toxicidad. Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos. La toxicidad de los nitritos depende de la cantidad de cloruros, temperatura y concentración de oxígeno en el agua. Es necesario mantener la concentración por debajo de 0.1 ppm, haciendo recambios fuertes de agua, limitando la alimentación y evitando concentraciones altas de amonio en el agua.

#### **2.1.4.6. Nitratos**

Debido a sus propiedades físicas, no pueden olerse ni sentirse y su presencia en concentraciones potencialmente peligrosas, es detectada cuando se produce un problema de salud en los peces. Niveles de nitrato entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. A menudo es difícil precisar el origen de un alto contenido de nitratos, debido a que puede provenir de muchas fuentes. La entrada de los nitratos es un resultado de procesos naturales, los cuales incluyen la precipitación, el constante movimiento de los minerales y descomposición de la materia orgánica.

#### **2.1.4.7. Transparencia**

Se recomienda hacer recambios de agua en proporción al nivel de turbidez hasta dejarla en los valores ideales, este recambio puede ser continuo o bajando el nivel del agua entre 30 y 40 cm para reponerla con agua nueva. El color ideal es un verde claro (Sánchez, 2015)

### **2.2. Acuaponía**

Constituye la integración entre un cultivo de peces y uno hidropónico de plantas, los cuales se unen en un sistema de recirculación, donde los desechos metabólicos generados por los peces y los restos de alimento son utilizados por los vegetales y transformados en materia orgánica vegetal, dejando así al agua libre de nutrientes para que esta pueda ser reutilizada. Con ello, se reduce la tasa de recambio de agua diario a 1,5% y su descarte hacia el ambiente; mientras que en un sistema tradicional se trabaja con un recambio de agua de 5 al 10 % diario para evitar una acumulación de desechos metabólicos (Caló, 2011).

### **2.2.1. Acuaponía con “Lechuga” (*Lactuca sativa*)**

La "lechuga" es la responsable de aprovechar el nitrato para sus procesos nutritivos y crecimiento (Nelson, 2008). Este producto al ser fruto del ciclo de nitrificación de amoníaco y bacterias nitrificantes, se requiere mantener un balance de cargas en las tres principales comunidades presentes en el sistema acuapónico: peces, plantas y bacterias. Para esto, los nitratos deben mantenerse en valores controlados entre 10 a 300 mg/L (Candarle, 2016).

Los parámetros más importantes en cultivos acuapónicos son el pH y la temperatura. El pH debe encontrarse entre los valores de 6.1 a 6.3 para un sistema acuapónico con filtro según Cáceres (2013) y debe ser mayor de 7.0 según Moreno y Zafra (2014) para garantizar el funcionamiento correcto de las bacterias nitrificantes. Un pH mayor a 7.5 puede mejorar la capacidad de absorción de minerales como hierro, manganeso, cobre, zinc y boro; mientras que en un pH igual a 6 disminuye la absorción de fósforo, calcio y magnesio. Asimismo, se ha indicado que la nitrificación puede ocurrir en rangos de 6 a 9 de pH, con una temperatura óptima para el crecimiento de las bacterias nitrificantes de 30 °C (Wheaton y otros, 1991).

### **2.3. Sistema de crianza de tilapia con recirculación de agua**

La recirculación del agua (SRA) en el cultivo de peces se define como el sistema donde el agua pasa por filtros mecánicos y biológicos, luego se oxigena y se elimina el dióxido de carbono, pudiendo así, ser utilizada nuevamente por los peces. Por lo tanto, el tratamiento del agua en Acuicultura persigue la eliminación de sustancias inertes, la destrucción de gérmenes patógenos y facilitar intercambios de gas entre la fase líquida y la gaseosa (Bregnballe, 2015; Gutierrez-Wing y Malone, 2006).

Cinco son los componentes que debe poseer un sistema de recirculación para que sea eficiente y provea un ambiente adecuado, ello son la remoción de sólidos tales como heces y el alimento no consumido; biofiltración que controla los compuestos nitrogenados producto del metabolismo de los organismos; aireación u oxigenación al agua; desgasificación del dióxido de carbono acumulado en el sistema, y circulación del agua. (Jiménez, 2007)

### **2.3.1. Remoción de sólidos**

Los desechos sólidos lo constituyen el alimento no ingerido, las partículas finas de alimento, las heces de los organismos bajo cultivo, las algas o películas bacterianas desprendidas de los biofiltros que se acumulan en cualquier sistema de acuicultura. Un mal manejo de este componente puede afectar la salud de los peces involucrando problemas branquiales y aumentando la exposición a patógenos. Por ellos los límites de sólidos totales admitidos son de 10 mg/L a 25 mg/L. Los sólidos se dividen en tres clases, sedimentables, suspendidos y finos. (Akifumi, 2002)

Los sólidos sedimentables (partículas > micra o de 0,1 mm) son generalmente los más fáciles de remover y deben ser eliminados en el tanque de cultivo con la mayor rapidez como sea posible. Esto se logra fácilmente dando pendiente suave a un desagüe central, con un modelo de flujo circular o efecto de taza de té. Los sólidos sedimentables se deben quitar desde el centro del tanque en forma continua o por lo menos todos los días. Otra alternativa externa, al tanque de cultivo, es usar un componente que se conoce como hidrociclón o remolino de separación. En este diseño los sólidos del agua y las partículas entran al separador de manera tangencial, la creación de un flujo circular o remolino patrón en un tanque de forma cónica (Galli y Sal, 2007).

Los sólidos Suspendidos (partículas entre 40 y 100 micras) desde un punto de vista de Ingeniería la diferencia entre sólidos suspendidos y sólidos sedimentables es netamente práctico, los sólidos suspendidos no están dentro de la columna de agua mientras que los sedimentables sí. Para remover estos tipos de sólidos se usa la filtración mecánica que incluye la Filtración por Pantalla y los filtros de medio granular expandible, (Bautista y Ruiz, 2011).

Los sólidos finos son partículas en suspensión (partículas < a 40 micras) y se acumulan dentro del cultivo intensivo y no pueden ser removidos por los sistemas anteriormente mencionados. Galli y Sal (2007) recomiendan para remover los sólidos finos, utilizar el fraccionador de espuma o Skimmer que es un proceso a base de espuma de proteínas, se emplea a menudo para eliminar y controlar la acumulación de estos sólidos.

### **2.3.2. Biofiltración**

La nitrificación tiene la función de controlar el nitrógeno amoniacal total (NAT) el cual debe ser removido del sistema a una tasa igual a la que es producido a partir del metabolismo de las proteínas realizada por los peces y la descomposición orgánica de los desechos sólidos en el sistema para así, mantener niveles seguros para el crecimiento de los organismos (Losordo y otros, 1998), ya que los peces al alimentarse solo asimilan un 35 – 40 % del alimento consumido mientras que el 60-65 % se excreta en el agua (Chapell, 2008). El amoniaco existe en dos formas: no ionizado y ionizado ( $\text{NH}_4^+$  amonio), la concentración relativa de estas formas en la columna de agua es principalmente una función del pH, temperatura y salinidad (Chen y otros, 2006).

Galli y Sal (2007) describen a la nitrificación como un proceso aeróbico que se lleva a cabo en dos partes, la primera, en la cual el amonio es oxidado a nitrito mediante la acción de bacterias del género *Nitrosomonas*; la segunda parte consiste en la oxidación de nitrito a nitrato, realizado por bacterias del género *Nitrobacter*. Según Gutierrez-Wing y Malone (2006), existen equipos cuyos mecanismos permiten la remoción de compuestos nitrogenados tales como el contactor biológico rotatorio (RBC), filtros de medio expandible, filtros de cama fluidizado, filtros de torre empacada. El diseño del Biofiltro es básico en un sistema de recirculación y para su diseño es indispensable estimar un buen balance de masas a fin de determinar el flujo óptimo.

### **2.3.3. Aireación u Oxigenación**

El sistema de aireación/oxigenación está compuesto por sopladores de aire y difusores, aireadores mecánicos de diverso tipo (aireadores de paso o bombas de agua), inyección directa de oxígeno y asimismo una combinación entre dos o más tipos de aireación/oxigenación. (Kubitza, 2006)

Es el primer factor limitante en la calidad de agua en Acuicultura. El mantenimiento del oxígeno disuelto (OD) en concentraciones superiores a 6 mg/L y las concentraciones menores a 20 mg/L contribuye a reducir el estrés en la mayoría de las especies cultivadas y mejorar las tasas de crecimiento. Dentro de los sistemas de Recirculación Acuícola están los cultivos de Baja Densidad hasta 40 kg/m<sup>3</sup> con aireación y Alta densidad hasta 120 kg/m<sup>3</sup> con oxígeno puro. (Boyd y Watten, 1989)

Según Kubitza (1998), la aireación se utiliza el termino presente a la disolución del oxígeno de la atmosfera en el agua opuesto a la adición de oxígeno como oxígeno puro. El proceso de la transferencia de oxígeno

puro al agua se le conoce como Oxigenación. Para aireación se utiliza tecnologías como: Agitadores, sopladores, tubos Venturi. Para oxigenación se utiliza dos tipos de tecnologías tales como: Oxígeno no presurizado, (oxigenado de cono y tubos en U) y oxígeno presurizado (Torre presurizada con aspersion y columna empacada presurizada).

#### **2.3.4. Desgasificación**

El dióxido de carbono es un elemento importante en la calidad del agua. Hasta hace poco, la mayoría de los sistemas eran generalmente de baja densidad (menos de 40 kg/m<sup>3</sup>) y se basaban en la aireación como el medio principal de suministro de oxígeno. Por ello, hay relativamente poca información sobre los efectos crónicos de CO<sub>2</sub> en Sistemas de Recirculación Acuícola (Timmons y otros, 2002).

Entre las ventajas de los sistemas de recirculación de agua descritas por Losordo y otros (1992) se encuentran la reducción de la transmisión y propagación de enfermedades; disminución en forma considerable los contaminantes al medio ambiente; optimización en el uso de recursos, tales como agua, alimentos, energía, terrenos, personal, entre otros; mejores índices de conversión alimenticia; programación más eficiente en la producción; adaptación del sistema para los diferentes estadios en organismos acuáticos en agua dulce como en agua de mar tanto en peces, crustáceos y moluscos y, como desventajas inversión inicial de alto costo y personal calificado.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El experimento se realizó en una unidad diseñada para experimentación en peces, ubicada en el Campus II de la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, durante la temporada de invierno y bajo condiciones de clima de la costa en la región La Libertad.

#### **3.2. Instalaciones**

Las instalaciones donde se desarrolló la investigación están construidas con vigas y postes de fierro, techo de calamina plástica a dos aguas y cubierto con manta en las paredes laterales. Dentro del galpón se encuentran 10 tanques de concreto de 500 L cada uno y 10 tanques contruidos de ladrillo cubiertos con plástico, estos con 300 L cada uno.

El Sistema de Recirculación de Agua (SRA) fue adaptado del modelo descrito por Trasviña y otros (2007) y se instaló sobre la base de la infraestructura existente en la unidad de peces. Se instalaron dos módulos, cada uno compuesto de tres tanques de concreto, haciendo un volumen total de espacio de 1.5 m<sup>3</sup>, respectivamente, para el confinamiento de los peces. Cada módulo contó con unidades de filtración independiente; el diseño del sistema fue tal como se muestra en la Figura 1, regresando el agua hacia los mismos tanques con una tasa de recambio del 10%, siguiendo la metodología de manejo de Timmons y otros (2002).

### 3.3. Descripción del sistema de recirculación de agua (SRA)

Se construyeron dos módulos de SRA, cada módulo consistía en cinco tanques; de ellos el primero sirvió de filtro de sólidos, los tres siguientes estuvieron acoplados al sistema de filtración biológico en el cual se incorporó el cultivo de cama de plantas de “lechuga” (*Lactuca sativa*) para captar nitrógeno y el último sirvió de almacén de agua filtrada para ser recirculado mediante bombas hacia los tanques de cría (Figura 1).

El filtro de sólidos (primer tanque) sirvió para la retención de partículas mayores a 10  $\mu\text{m}$  del flujo de agua que procedía de los tanques de cría. Tiene forma de caja y se construyó con madera forrada con malla. El sistema también contó con acoples de madera que permiten el ajuste y sostén de las cajas a la tubería.

El filtro de cama con plantas constituido por una secuencia de tanques consecutivos funcionó como clarificador, debido a que separó los sólidos por sedimentación, al mismo tiempo que funcionó como biofiltro por captar los compuestos nitrogenados por las plantas. Para asegurar y ampliar el área de crecimiento de microorganismos fijadores de compuestos nitrogenados. Se colocaron piedras pequeñas y ladrillos rotos en el fondo de la poza asegurando una mayor superficie de contacto como sustrato de las bacterias y efectuar una filtración biológica más eficiente.

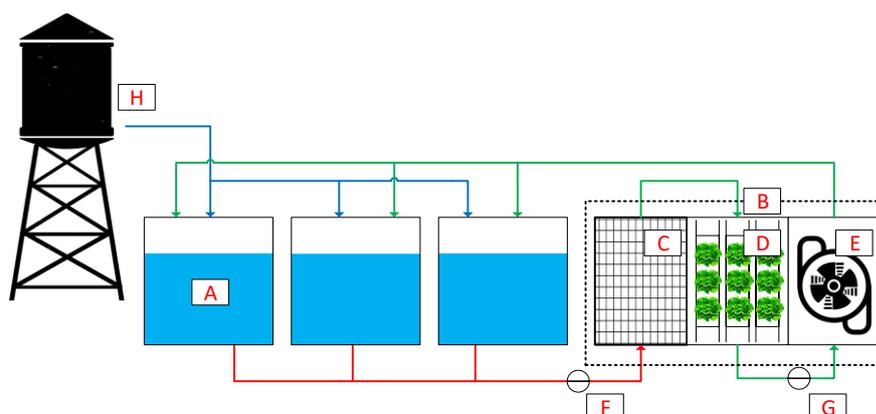


Figura 1. Componentes del SRA: (A: 3 Tanques de cría de peces, B: Sistema de Recirculación y Filtro, C: Filtro de sólidos, D: Biofiltro de plantas y lecho. E: Bomba, F: Punto de medición salida, G: Punto de medición entrada, H: Recambio de agua) y dirección del flujo de agua a través del sistema.

### 3.4. Activación, funcionamiento y evaluación del SRA

Para llevar a cabo la degradación de los compuestos nitrogenados, se requirió que el filtro biológico se encuentre activo o maduro, es decir, que tenga suficientes bacterias (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) para llevar a cabo dicho proceso. Para ello, se introdujo una densidad baja de peces, 10 peces de 250 g de peso vivo por tanque, los cuales proporcionaron la cantidad de amoníaco necesario para la colonización de las bacterias en la superficie de los materiales que componen los filtros (piedras y ladrillos). El monitoreo de la activación se realizó de los 15 a 30 días (Cline, 2005), en los cuales se evaluó los parámetros fisicoquímicos.

### 3.5. Animales y alimentación

Se utilizaron 200 peces tilapia procedentes del criadero del Campus II UPAO.

El funcionamiento del SRA fue probado a una capacidad fija, para ello en cada tanque de cría (de 0.5 m<sup>3</sup>) se colocaron entre 25 y 35 peces de peso promedio de 300 - 600 g, para obtener una biomasa por módulo de 5 y 10 kg/m<sup>3</sup>. Los peces fueron alimentados en cantidades estimadas a partir del 2% del peso corporal, el suministro fue realizado cuatro veces al día (8, 9, 11 y 12 h), evitando el exceso de sobras en el tanque. La dieta fue formulada para atender a las necesidades de los peces, según las recomendaciones establecidas por las Tablas brasileiras para a nutrição de tilápias (2010) y son mostradas en el Cuadro 6.

En la evaluación del Sistema, el monitoreo durante la etapa de activación y de funcionamiento se realizó según las recomendaciones de (DeLong y Losordo, 2012), midiendo diariamente los parámetros del agua a la salida de los tanques y nuevamente a la entrada luego de pasar por los filtros, consistentes en: Nitritos, Nitratos, Oxígeno disuelto, Dureza y pH. Se evaluó comportamiento productivo de los peces y tasa de sobrevivencia.

Cuadro 6. Composición porcentual y nutricional de las dietas para tilapia durante la fase de engorde.

Ingredientes	%
Maíz	41.83
Torta de soya	35.26
Afrecho de trigo	1.00
Carbonato de Ca	0.94
Soya integral	18.68
Premezcla min. y vitaminas	0.10
Sal	0.40
Fosfato bicálcico	1.66
DL - metionina	0.10
L - treonina	0.03
Total	100.00
Valor nutritivo	
Proteína (%)	26.80
Energía Digestible (kcal/kg)	3078.00
Calcio (%)	0.90
Fósforo disponible (%)	0.46
Lisina (%)	1.53
Metionina (%)	0.47
Treonina (%)	1.07
Metionina + Cisteína (%)	0.84

Fuente: Tablas brasileiras para a nutrição de tilápias (2010)

### 3.6. Tratamientos

SA = Sistema abierto con densidad convencional de 3 kg de biomasa/m<sup>3</sup> (5 - 10 peces/tanque)

SRA5 = Sistema cerrado con Recirculación de 5 kg de biomasa/m<sup>3</sup> (20 peces/tanque)

SRA10 = Sistema cerrado con Recirculación de 10 kg de biomasa/m<sup>3</sup>  
(30 peces/tanque)

### **3.7. Variables dependientes**

#### **3.7.1. Indicador de performance**

- Consumo diario de alimento (CDA, g).
- Ganancia diaria de peso (GDP, g).
- Conversión alimenticia (CA, g/g).

#### **3.7.2. Indicadores físico-químicos del agua**

- Temperatura.
- Oxígeno disuelto.
- Dureza.
- pH.
- Nitritos y nitratos.

### **3.8. Manejo de los tanques y control de la calidad del agua**

Los tanques fueron sifoneados cada dos días para mantener una adecuada calidad de agua y el volumen de agua fue repuesto. Semanalmente fueron monitoreados los parámetros acuáticos como pH, oxígeno disuelto, concentración de nitritos y nitratos, utilizándose kits de determinación, según las recomendaciones de Boyd y Tucker (1998).

### **3.9. Análisis estadístico**

Los peces fueron distribuidos en cada tanque, utilizando un diseño de bloques completo al azar (DBCA), con tres tratamientos y tres bloques,

siendo el factor de bloqueo el peso de los peces al inicio del experimento. La unidad experimental estuvo compuesta por un número de peces de acuerdo con las densidades, 5 y 10 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.

Los resultados de cada variable evaluada se analizaron a través del análisis de variancia y los promedios comparados por la prueba de Tukey, usando el programa estadístico Estat de la Universidad Estadual Paulista, UNESP, SP - Brasil.

El modelo matemático fue:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + B_j + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Observación cualquiera, que corresponde al i-ésimo tratamiento.

$\mu$  = Media general o media poblacional.

$t_i$  = Efecto del sistema de circulación del agua (i: 1, 2).

$B_j$  = Efecto del peso de los peces (j: 1, 2, 3)

$E_{ijk}$  = Error experimental.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Calidad de agua

Los resultados de calidad de agua de acuerdo con el sistema de crianza se muestran en el cuadro 7; donde se observa que los valores de dureza, pH y oxígeno se mantienen dentro de los niveles aceptables para la crianza de tilapias en los tres tratamientos. Los valores de nitritos y nitratos que salen en el SA son inferiores ( $p < 0.05$ ) a los otros tratamientos; en tanto que entre SRA5 y SRA10  $\text{kg/m}^3$ , en agua recirculada no se encontró variación significativa ( $p > 0.05$ ) para nitratos y nitritos.

Cuadro 7. Promedios de variables relacionadas a calidad de agua en función al sistema de crianza (durante los 60 días de evaluación).

Variables <sup>1</sup>	Tratamientos <sup>2</sup>			SEM <sup>3</sup>	Valores permitidos <sup>4</sup>
	SA	SRA 5	SRA 10		
En los tanques de crianza					
Nitrato (mg/L)	3.69b	4.83b	6.42a	0.44	0 - 40
Nitrito (mg/L)	0.03b	0.09a	0.13a	0.02	0 - 0.1
Dureza ( $\text{mol/m}^3$ )	450.39	450.39	450.39	--	20 - 250
pH	6.7	6.7	6.7	--	6.5 - 9.0
Oxígeno (mg/L)	5.25a	5.08a	4.25a	0.43	4 - 10
Temperatura	19.19	19.19	19.19	--	27 - 32
En agua recirculada					
Nitrato (mg/L)	--	4.17a	5.33a	0.52	0 - 40
Nitrito (mg/L)	--	0.06a	0.10a	0.01	0 - 0.1

<sup>1</sup> Promedios seguidos de letras diferentes en la misma fila, difieren significativamente entre sí por la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup> Tratamientos: SA: Sistema Abierto, SRA 5 y SRA10: 5 y 10 Kg de biomasa/ $\text{m}^3$  de agua, respectivamente.

<sup>3</sup> SEM: Error estándar del promedio.

<sup>4</sup> Fuente: Adaptado de Cantor (2007).

## 4.2. Desempeño productivo

La evaluación a los 30 días del experimento se muestra en el cuadro 8, donde se observó que con excepción del consumo de alimento que fue igual para todos, la ganancia de peso y la conversión alimenticia mostraron mejor respuesta ( $p < 0.05$ ) en aquellos animales que fueron criados en el SA. Entre el SR5 y SR10  $\text{kg/m}^3$  no se encontró variación significativa ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos.

Cuadro 8. Promedios de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de tilapias de acuerdo con el sistema de crianza (a 30 días de evaluación).

Variables <sup>1</sup>	Tratamientos <sup>2</sup>			SEM <sup>3</sup>
	SA	SRA 5	SRA 10	
Ganancia de peso (g)	54.60a	35.37b	21.73b	3.88
Consumo de alimento (g)	110.24a	150.20a	125.42a	16.79
Conversión alimenticia (g/g)	2.03b	4.20a	5.87a	0.41

<sup>1</sup> Promedios seguidos de letras diferentes en la misma fila, difieren significativamente entre sí por la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup> Tratamientos: SA: Sistema Abierto, SRA 5 y SRA10: 5 y 10 Kg de biomasa/ $\text{m}^3$  de agua, respectivamente.

<sup>3</sup> SEM: Error estándar del promedio

La evaluación a los 60 días del experimento se muestra en el cuadro 9, donde se observó que la ganancia de peso de animales que fueron criados en el SRA 5 mostraron mayores valores ( $p < 0.05$ ) que, de los otros tratamientos, en el consumo de alimento y conversión alimenticia no hubo variación significativa ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos.

Cuadro 9. Promedios de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de tilapias de acuerdo con el sistema de crianza (a 60 días de evaluación).

Variables <sup>1</sup>	Tratamientos <sup>2</sup>			SEM <sup>3</sup>
	SA	SRA 5	SRA 10	
Ganancia de peso (g)	23.40b	37.07a	20.00b	2.61
Consumo de alimento (g)	81.93a	113.25a	92.80a	10.58
Conversión alimenticia (g/g)	3.58a	3.06a	5.34a	1.08

<sup>1</sup> Promedios seguidos de letras diferentes en la misma fila, difieren significativamente entre sí por la prueba de Tukey (P<0.05).

<sup>2</sup> Tratamientos: SA: Sistema Abierto, SRA 5 y SRA10: 5 y 10 Kg de biomasa/m<sup>3</sup> de agua, respectivamente.

<sup>3</sup> SEM: Error estándar del promedio

La evaluación en el periodo total del experimento se muestra en el cuadro 10, donde se observó que con excepción del consumo de alimento que fue igual para todos, la ganancia de peso y la conversión alimenticia mostraron mejor respuesta ( $p < 0.05$ ) en aquellos animales que fueron criados en el SA. Entre el SR5 y SR10 kg/m<sup>3</sup> si se encontró variación significativa ( $p > 0.05$ ) entre los tratamientos.

Cuadro 10. Promedios de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia de tilapias de acuerdo con el sistema de crianza (promedio de 60 días de evaluación).

Variables <sup>1</sup>	Tratamientos <sup>2</sup>			SEM <sup>3</sup>
	SA	SRA 5	SRA 10	
Ganancia de peso (g)	77.97a	72.40a	41.70b	4.20
Consumo de alimento (g)	193.16a	263.45a	218.22a	27.24
Conversión alimenticia (g/g)	2.48b	3.62ab	5.32a	0.51

<sup>1</sup> Promedios seguidos de letras diferentes en la misma fila, difieren significativamente entre sí por la prueba de Tukey (P<0.05).

<sup>2</sup> Tratamientos: SA: Sistema Abierto, SRA 5 y SRA10: 5 y 10 Kg de biomasa/m<sup>3</sup> de agua, respectivamente.

<sup>3</sup> SEM: Error estándar del promedio.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Calidad de agua

En el Cuadro 7, podemos apreciar que los niveles de nitritos únicamente en el sistema abierto (SA), presenta un nivel óptimo de 0.03 mg/L, significativamente diferente a la salida de los dos sistemas de recirculación de agua (SRA) tanto de 5 kg/m<sup>3</sup> como de 10 kg/m<sup>3</sup>; donde según Cantor (2007), solo el primero es aceptable (0.09 mg/L) a diferencia del segundo (0.13 mg/L), que supera el límite de 0.10 mg/L. De igual manera, en el ingreso de ambos SRA, solamente el primero se encuentra dentro de los valores referenciados (0.06 mg/L) y no el segundo (0.10 mg/L) respectivamente. A pesar de que se contó con ladrillos rotos en el fondo de las pozas como filtro biológico entre el filtro físico y el lecho hidropónico, este no pudo proveer la cantidad de bacterias nitrificantes necesarias para reducir estos índices. Inclusive al realizar sifoneos periódicos, éstos niveles de nitratos y nitritos retornaron a las pozas de cultivo con valores similares a los tomados en el punto de salida.

Los niveles de nitratos, siempre se encontraron dentro de los rangos óptimos según Bautista y Ruiz (2011), tanto en el Sistema abierto donde fue de 3.69 mg/L, el SRA 5, su salida fue de 4.83 mg/L y entrada de 4.17 mg/L, como en el SRA 10, su salida fue de 6.42 mg/L y entrada de 5.33 mg/L; siendo aproximadamente el 10% del valor límite de 40 mg/L para todos los casos. Esto posiblemente debido a que la cantidad de producción de desechos nitrogenados no son suficientemente grandes para incrementar este valor, además de que no se tiene fuentes externas de ingreso.

La cantidad de oxígeno disuelto no muestra diferencias significativas, sin embargo, el SRA 10, presentó valores de 4.25 mg/L, el cual se encuentra muy cercano al límite inferior permitido, posiblemente relacionado a la densidad de peces, el cual era entre 25 a 35 peces con un recambio de agua de 10%, esta densidad puede ser considerada excesiva según SAGARPA (2006), donde se especifica que para una densidad mayor a 12 peces es necesario un recambio de 40-50% del agua.

En cuanto al pH del agua, nos reportó valores de 6.7 en todo el periodo de evaluación, observándose que no ha habido variación alguna y que además está dentro de los parámetros normales (6.5 – 9.0), la que permite la secreción normal de mucus en la piel, si estos valores estuvieran por encima se expresaría en un cambio de comportamiento en las tilapias como letargia, falta de apetito y el crecimiento lento (Poot y otros, 2009).

La Dureza reportó valores de 450.39 mg/L (4.5 mol/m<sup>3</sup> según el quit Aquadur) donde se pudo observar que no hubo ninguna variación en las diferentes evaluaciones y al encontrarse fuera del rango normal (20 a 350 mg/L), posiblemente pudo causar problemas de calcificación de branquias como lo describe Hsien-Tsang y Quintanilla (2008), sin embargo se tiene que considerar que el agua es obtenida directamente del subsuelo, esperando que sea dura.

Los valores de temperatura tuvieron un rango de 19 a 22 °C en todo el periodo de crianza, siendo este menor a los reportados por NICOVITA (2002), el cual reporta como valores óptimos de temperatura los rangos entre 28 a 32 °C y por Hsien-Tsang y Quintanilla (2008) quienes señalan los rangos de 24 a 30 °C; inclusive los estudios reportan que menor a 19 °C, se suspende la alimentación, reduciendo el metabolismo de las

tilapias, lo cual genera una menor alimentación, menor excreción de sustancias nitrogenadas y una menor ganancia de peso.

## **5.2. Valores productivos**

### **5.2.1. Ganancia de peso**

Realizando el contraste de los valores productivos a los primeros 30 días de producción en la etapa de engorde se observó que el tratamiento SA en la variable ganancia de peso fue diferente significativamente con respecto a los demás tratamientos, siendo superior en 35.2% al SRA 5 y 60.2% al SRA 10. pero, en comparación con lo mencionado por Aguilar y otros (2010), el tratamiento SA fue inferior en 26.92% con alimento peletizado y 33.52% con alimento extruido.

En los siguientes 30 días de producción, el tratamiento con valor superior y diferencia significativa a los otros tratamientos fue el SRA5, superando al tratamiento SA en 36.88% y al SRA10 en 46.05%; al comparar con lo presentado con Aguilar y otros (2010), el tratamiento SRA5 fue inferior en 86.94% con alimento peletizado y 96.65% con alimento extruido.

Al evaluar los 60 días de producción, el tratamiento con mejor ganancia de peso fue SA, siendo superior en 7.14% a SRA5 sin haber diferencia significativa y en 46.52% a SRA10 habiendo diferencia significativa; al contrastar con los valores de Aguilar y otros (2010), el tratamiento con mejor respuesta es SA, el cual fue inferior en 77.76% en alimento peletizado y 86.99% en alimento extruido.

Al analizar el periodo productivo en general, se puede determinar que probablemente se deba a la temperatura en la cual los peces se han

cultivado, siendo esta superior en 2 °C a la temperatura en la cual se suspende su alimentación de 17 °C, según Hsien-Tsang y Quintanilla (2008), como también es probable que la dureza sea un factor que influenció; por ser un agua dura y generar problemas a nivel de branquias con niveles superiores a 350 mg/L.

### **5.2.2. Consumo de alimento**

Esta variable tanto en los primeros 30 días de producción, como en los 30 días siguientes, como en el periodo total de 60 días, no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos; donde posiblemente esto se deba a la palatabilidad del alimento y su aceptación por los peces.

### **5.2.3. Conversión alimenticia**

En los primeros 30 días de producción, al evaluar la conversión alimenticia, hubo significancia del tratamiento SA con respecto a los tratamientos SRA5 y SRA10, siendo estos superiores en 106.90% y 189.16% respectivamente. Pero, al contrastar con Vega y otros (2010), donde señala que tiene una mejor conversión alimenticia en 18.23% con 50 peces/m<sup>3</sup> y en 80.30% con 4 peces/m<sup>3</sup>, donde se puede corroborar que la variable densidad de peces por m<sup>3</sup> puede tener un impacto en la conversión alimenticia. Asimismo, contrastando con lo que determina Asian-Hoyos y otros (2011), el valor brindado tiene mejor conversión en 32.04%; Díaz y Caballero (2013), respecto a alimento comercial, este tiene mejor conversión en 22.33%, pero respecto a su alimento experimental tiene una mala conversión en 91.75% mayor; con Aguilar y otros (2010), su conversión alimenticia es mejor en 36.45% en alimento peletizado y 38.42% en alimento extruido.

Del día 30 hasta el día 60 de producción, no hubo diferencia significativa entre los tres tratamientos, pero la mejor conversión la brindó el tratamiento SRA5, teniendo mejor conversión en 16.99% con SA y 74.50% con SRA10. Contrastando al tratamiento SRA5 con lo que determina: Asian-Hoyos y otros (2011), brinda un valor con mejor conversión en 54.25%; Díaz y Caballero (2013), respecto a alimento comercial, este tiene mejor conversión en 47.71%, pero a su alimento experimental tiene una mala conversión en 29.08% mayor; Aguilar y otros (2010), donde su conversión alimenticia es mejor en 42.16% en alimento peletizado y 59.15% en alimento extruido.

Al evaluar los 60 días de producción, se puede observar que existe diferencia significativa entre los tratamientos SA y SRA10, pero el tratamiento SRA5 no muestra diferencia significativa con los anteriores. La mejor conversión alimenticia lo tiene el tratamiento SA; en 45.97% con SRA5 y 114.52% con SRA10. Asimismo, contrastando al tratamiento SRA5 con lo que determina: Asian-Hoyos y otros (2011), el cual brinda un valor de mejor conversión en 43.55%; Díaz y Caballero (2013), con respecto a alimento comercial, este tiene mejor conversión en 35.48%, pero respecto a su alimento experimental tiene una mala conversión en 59.27% mayor; y con Aguilar y otros (2010), su conversión alimenticia es mejor en 47.98% en alimento peletizado y 49.60% en alimento extruido.

Estos resultados al igual que la ganancia de peso pueden estar relacionados de forma directa con la temperatura y la dureza del agua, pero además con la densidad, lo cual genera un nivel mayor de amoníaco que, al no tener la cantidad de bacterias nitrificantes necesarias en el filtro biológico, tiende a llegar a niveles tóxicos para el cultivo, no pudiendo ser nitrificado correctamente a nitrito o nitrato.

## **VI. CONCLUSIONES**

La calidad de agua en la crianza de tilapias no permitió el desarrollo de bacterias nitrificantes necesarias para la reducción de nitritos y nitratos.

La densidad de peces de 10 kg/m<sup>3</sup> en el Sistema de Recirculación de Agua, no fue favorable para el desempeño productivo en relación con los otros tratamientos (SA y SRA 5Kg/m<sup>3</sup>).

El Sistema Abierto brindó mejores resultados para desempeño productivo y calidad de agua.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Reducir la densidad de peces por poza, con la finalidad de establecer la cantidad optima de densidad para un sistema de crianza intensiva.

Mejorar la calidad del agua con respecto a la dureza, buscando que no sea un factor influenciante en los resultados finales.

Separar en mayor cantidad de horas la alimentación de los peces, para no permitir que se acumule mucho alimento, incrementando los niveles de amoniaco.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, F., Afanador-Téllez, G., Muñoz-Ramírez, A. 2010. Efecto del procesamiento de la dieta sobre el desempeño productivo de Tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus var. chitralada*) en un ciclo comercial de producción. Departamento de Ciencias para la Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/4076/407639223003.pdf>

Akifumi, F. 2002. SISTEMAS DE RECIRCULACION EN ACUICULTURA. Dirección de Acuicultura - Argentina. Recuperado de: [http://www.refacua.gob.ar/documentos/Sistemas\\_recirculacion\\_acuicultura.pdf](http://www.refacua.gob.ar/documentos/Sistemas_recirculacion_acuicultura.pdf)

Asiain-Hoyos A., Fernández-Díaz B., Reta-Mendiola J., Suárez-Santacruz C.A. 2011. Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (*Oreochromis spp*). Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, Postgrado en Agroecosistemas Tropicales. Recuperado de: <http://producirmejor.com/PUBLICACIONES%20NUEVAS/ACUACUL/MANUAL%20ACUCULTURA%20MOJARRA%20TILAPIA.pdf>

Baltazar, P. y Palomino, A. 2004. Manual del cultivo de tilapia. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero – FONDEPES, Gerencia de Acuicultura. Recuperado de: [http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual\\_tilapia.pdf](http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf)

Bautista, J. y Ruiz, J. 2011. Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. México. Revista Fuente. 3(8): 10-14. Recuperado de: <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-08/2.pdf>

Boyd, C. E. y Tucker, C. S. 1998. Pond water quality management. Boston: Kluwer Academic. Recuperado de: [http://www.ag.auburn.edu/fish/documents/International\\_Pubs/R&D%20Series/43%20-%20Water%20Quality%20for%20Pond%20Aquaculture.pdf](http://www.ag.auburn.edu/fish/documents/International_Pubs/R&D%20Series/43%20-%20Water%20Quality%20for%20Pond%20Aquaculture.pdf)

Bregnballe, J. 2015. A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO; Eurofish International Organization. 100 p. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>

Calderón, M. 2018. Análisis del proceso productivo de tilapia (*Oreochromis sp.*) en la Estación Experimental Monterrico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), USAC. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Recuperado de: [http://www.repositorio.usac.edu.g  
t/8712/1/Mildred%20Yessenia%20Calder%C3%B3n%20Orellana.pdf](http://www.repositorio.usac.edu.gt/8712/1/Mildred%20Yessenia%20Calder%C3%B3n%20Orellana.pdf)

Caló, P. 2011. Introducción a la Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola- CENADAC. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesquería, Chile. Recuperado de: [chilorg.chil.me/download-doc/86262](http://chilorg.chil.me/download-doc/86262)

Cantor, F. 2007. Manual de producción de tilapia. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla, México. Recuperado de: [http://api.ning.com/files/-wPbKS8JJ3E-qmSIsn6v3jY49mrh7myYykUI0Lwg1ZHHf5ncyqNc1MjRaH0YIPTH47aWwgm7-YIxzYeCIKX\\*IVb8f1CLFXUp/M  
anualdecultivodeTilapia.pdf](http://api.ning.com/files/-wPbKS8JJ3E-qmSIsn6v3jY49mrh7myYykUI0Lwg1ZHHf5ncyqNc1MjRaH0YIPTH47aWwgm7-YIxzYeCIKX*IVb8f1CLFXUp/ManualdecultivodeTilapia.pdf)

Chapell, J. A.; Brown, T. W. & Purcell, T., 2008. A demonstration of tilapia and tomato culture utilizing an energy efficient integrated system approach. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture 2008. p

23-32. Recuperado de:  
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20133318677>

Chen, S., Ling, J., Blancheton, J. 2006. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*. 34:179-197. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905001263>

Cline D. 2005. Constructing a simple and inexpensive Recirculating Aquaculture System (RAS) for classroom use. Southern Regional Aquaculture Center. E.U.A. No. 4501. 11 p. Recuperado de: [https://articles.extension.org/sites/default/files/w/d/d5/Constructing\\_Simple\\_RAS.pdf](https://articles.extension.org/sites/default/files/w/d/d5/Constructing_Simple_RAS.pdf)

DeLong, D. y Losordo, T. 2012. How to Start a Biofilter. Southern Regional Aquaculture Center. E.U.A. No. 4502. 4 p. Recuperado de: <https://agrifecdn.tamu.edu/fisheries/files/2013/09/SRAC-Publication-No.-4502-How-to-Start-a-Biofilter.pdf>

Díaz, D., Caballero, H. 2013. Efectos de dos dietas de alimentación (Comercial y experimental) sobre el crecimiento de las tilapias (*Oreochromis niloticus*) en sistemas de recirculación con filtros Biológicos. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de Ciencia y Tecnología. Recuperado de: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/3343/1/227251.pdf>

Furuya, M. 2010. Tabelas brasileiras para a nutrição de tilápias. 2010. Toledo – Brasil. GFM. 100 p.

Furuya, W.; Pezzato, L.; Barros, M.; Pezzato, A.; Furuya, V. y Miranda, E. 2004. Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid

levels in fish-meal-free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research*. 35: 1110-1116. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2109.2004.01133.x>

Galli, O. y Sal F. 2007. Sistemas de recirculación y tratamiento de agua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos CENADAC. Santa Ana-Corrientes, Argentina. 36 p. Recuperado de: [http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/\\_archivos//000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf](http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000003-Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf)

Gutierrez-Wing, M. y Malone, R. 2006. Biological filters in aquaculture: Trends and research directions for freshwater and marine applications. *Aquacultural Engineering*. 34:163 -171. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905001123>

Hsien-Tsang, S., Quintanilla, M. Manual sobre "Reproducción y cultivo de tilapia". Centro de Desarrollo de la Pesca y la Acuicultura, El Salvador. Recuperado de: <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/mag/documents/119824/download>

Jiménez, A. 2007. Sistema de recirculación en acuicultura: una visión y retos diversos para Latinoamérica. Recuperado de: [http://www.industriaacuicola.com/PDFs/Sistemas\\_de\\_recirculacion.pdf](http://www.industriaacuicola.com/PDFs/Sistemas_de_recirculacion.pdf)

Kubitza, F. 1998. Qualidade da água na produção de peixes. Parte II. *Revista Panorama da Aqüicultura*. 8:35-41. Recuperado de: <http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/46/qualidade46.asp>

Losordo, T., Masser, P., Rakocy, J., 1998. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: An Overview of Critical Considerations. Southern

Regional Aquaculture Centre Publication No 451. Southern Regional Aquaculture Centre, Estados Unidos. Recuperado de: <http://fisheries.tamu.edu/files/2013/09/SRAC-Publication-No.-451-Recirculating-Aquaculture-Tank-Production-Systems-An-Overview-of-Critical-Considerations.pdf>

Candarle, P. 2016. Técnicas de Acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Dirección de acuicultura, Argentina. Recuperado de:

[https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/\\_archivos/000000\\_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831\\_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/publicaciones/_archivos/000000_Informaci%C3%B3n%20y%20noticias%20vinculadas%20al%20sector/160831_T%C3%A9cnicas%20de%20Acuaponia.pdf)

Cáceres, D. 2013. Efecto del agua residual del cultivo de *Oreochromis niloticus* "tilapia" sobre el crecimiento de *Lactuca sativa* "lechuga" en sistema acuapónico continuo. Escuela Académico Profesional de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3849>

Luz, R., Santos, J. dos. 2008. Densidade de estocagem e salinidade da água na larvicultura do pacamã. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 43:903-909. Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n7/15.pdf>

Marengoni, N. G. 2006. Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitraladra), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. Archivos de Zootecnia. 55(210):127-138. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49521001>

Mendoza, D. 2011. Informe: Panorama de la acuicultura mundial, América Latina y el Caribe y en el Perú. Dirección general de acuicultura del despacho Viceministerial de Pesquería - Ministerio de la Producción.

Recuperado de:  
[http://www.proacuicultura.com.pe/publicaciones/OTRAS%20PUBLICACIONES/05\\_PANORAMA\\_DE\\_LA\\_ACUICULTURA\\_MUNDIAL\\_AMERICA\\_LATINA\\_EL\\_CARIBE\\_PERU.pdf](http://www.proacuicultura.com.pe/publicaciones/OTRAS%20PUBLICACIONES/05_PANORAMA_DE_LA_ACUICULTURA_MUNDIAL_AMERICA_LATINA_EL_CARIBE_PERU.pdf)

Moreno, E., Zafra, A. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga, *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Escuela Académico Profesional de Pesquería. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. Recuperado de: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/facccbiol/article/view/770/694>

Nelson, R. 2008. Aquaponics food production, Raising fish and profit. First Edition. Nelson and Pade, Inc. 218p. ISBN 978-0-977969616.

NICOVITA. 2002. Manual de crianza de tilapia. Alicorp - Perú. Recuperado de:  
<http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>

Poot, C., Novelo, R., Hernández, M. 2009. ABC, en el cultivo integral de la tilapia. Centro de Estudios Tecnológicos del Mar 02. Campeche - México. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/55367067/20458321-ABC-en-El-Cultivo-Integral-de-La-Tilapia>

Saavedra, M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Centro de Investigaciones de Ecosistemas Acuáticos. Managua - Nicaragua. Recuperado de: <http://repositorio.cnu.edu.ni/Record/RepoUCA2554>

SAGARPA. 2006. Manual de Producción de Tilapia con especificaciones de calidad e inocuidad. Veracruz – Mexico. Recuperado de: <https://drive.google.com/open?id=1TlclX3tYjeKi4KIUTfWO51hYkihBHoL5>

Tacon, A. G. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación. FAO. Proyecto GCP/RLA/102/ITA, Proyecto Aquila II, Apoyo a las actividades regionales de acuicultura para América Latina y Caribe. Brasíla, Brasil. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB492S/AB492S00.htm>

Timmons, M., Ebeling, J., Wheaton, F., Summerfelt, S. y Vinci, B. 2002. Recirculating aquaculture systems. Northeastern Regional Aquaculture Center. E.U.A. 769 p.

Trasviña, A., Cervantes, M., Perez, E. y Timmons, M. 2007. Sistema de recirculación modular para uso familiar/multi-familiar. Instituto Tecnológico de Boca del Río, México. Recuperado de: [http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/featured\\_titles/Timmons%20Manual%202007.pdf](http://pdacrsp.oregonstate.edu/pubs/featured_titles/Timmons%20Manual%202007.pdf)

Vega, F., Cortés M., Zúñiga, L., Jaime, B., Galindo, J., Basto, M., Nolasco, H. 2010. Cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) a pequeña escala ¿Alternativa alimentaria para familias rurales y periurbanas de México?. Revista electrónica de Veterinaria, Volumen 11 Número 03. México. Recuperado de: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n040410/041010.pdf>

Wheaton y otros, 1991. Principles of biological filtration. Agricultural Engineering Department, University of Maryland, College Park. Recuperado de: <http://nsgl.gso.uri.edu/hawau/hawauwr91003.pdf>

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Cuadro resumen controles de peso.

Trat.	Rep.	CONTROL			FINAL			PERIODO TOTAL		
		Promedio/pez (g)			Promedio/pez (g)			Promedio/pez (g)		
		Ganancia de peso	Consumo	CA	Ganancia de peso	Consumo	CA	Ganancia de peso	Consumo	CA
SA	1	47.2	99.65	2.11	20.6	75.18	3.65	67.8	174.82	2.58
	2	50.4	102.65	2.04	26.5	76.34	2.88	76.9	178.98	2.33
	3	66.2	128.43	1.94	23.1	97.26	4.21	89.2	225.69	2.53
SRA5	A	16.9	115.94	6.87	21.4	81.43	3.81	38.2	197.36	5.16
	B	26.4	149.13	5.66	12.5	111.49	8.92	38.9	260.61	6.71
	C	21.9	111.19	5.07	26.1	85.49	3.28	48	196.68	4.1
SRA10	D	33.5	115.51	3.45	35	95.57	2.73	68.5	211.08	3.08
	E	38.9	198.5	5.1	36.9	140.87	3.82	75.8	339.37	4.48
	F	33.7	136.59	4.06	39.3	103.31	2.63	72.9	239.89	3.29

## Anexo 2. Mediciones de Nitritos.

Fecha	SA				SRA10		SRA5	
	Posa 1	Posa 2	Posa 3	Prom	Sale	Entra	Sale	Entra
11/04/2017	0.05	0.02	0.02	<b>0.03</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.07</b>
15/04/2017	0.02	0.02	0.02	<b>0.02</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
20/04/2017	0.02	0.02	0.03	<b>0.02</b>	<b>0.20</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>
25/04/2017	0.02	0.05	0.07	<b>0.05</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>0.11</b>	<b>0.06</b>
28/04/2017	0.05	0.02	0.05	<b>0.04</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>
05/05/2017	0.03	0.02	0.05	<b>0.03</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>	<b>0.20</b>	<b>0.10</b>
03/06/2017	0.02	0.02	0.02	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>
19/06/2017	0.05	0.05	0.05	<b>0.05</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
23/06/2017	0.02	0.02	0.02	<b>0.02</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>
30/06/2017	0.02	0.02	0.02	<b>0.02</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>
03/07/2007	0.03	0.03	0.03	<b>0.03</b>	<b>0.30</b>	<b>0.11</b>	<b>0.10</b>	<b>0.07</b>
10/07/2017	0.02	0.02	0.03	<b>0.02</b>	<b>0.20</b>	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.05</b>

## Anexo 3. Mediciones de Nitratos.

Fecha	SA				SRA10		SRA5	
	Posa 1	Posa 2	Posa 3	Prom	Sale	Entra	Sale	Entra
11/04/2017	1	3	3	2.3	5	5	5	3
15/04/2017	5	3	3	3.7	5	3	5	3
20/04/2017	3	3	3	3.0	5	3	5	3
25/04/2017	5	3	5	4.3	5	5	5	5
28/04/2017	3	3	3	3.0	7	5	5	5
05/05/2017	3	1	3	2.3	5	5	5	5
03/06/2017	3	3	3	3.0	10	10	5	5
19/06/2017	10	5	5	6.7	10	5	5	5
23/06/2017	3	3	3	3.0	5	3	5	3
30/06/2017	5	5	5	5.0	10	10	5	5
03/07/2007	5	5	5	5.0	5	5	5	5
10/07/2017	3	3	3	3.0	5	5	3	3

## Anexo 4. Mediciones de Oxígeno Disuelto.

Fecha	SA				SRA10		SRA5	
	Posa 1	Posa 2	Posa 3	Prom	Posa	Ox.	Posa	Ox.
11/04/2017	4	6	6	<b>5.33</b>	B	3	E	4
15/04/2017	4	6	6	<b>5.33</b>	A	3	D	3
20/04/2017	4	6	6	<b>5.33</b>	C	4	F	4
25/04/2017	2	4	4	<b>3.33</b>	B	3	E	3
28/04/2017	3	6	6	<b>5.00</b>	A	6	D	8
05/05/2017	4	6	6	<b>5.33</b>	C	6	F	3
03/06/2017	4	6	6	<b>5.33</b>	A	6	D	8
19/06/2017	4	6	6	<b>5.33</b>	A	4	D	6
23/06/2017	4	6	4	<b>4.67</b>	B	4	E	6
30/06/2017	6	6	6	<b>6.00</b>	C	6	F	8
03/07/2007	6	6	4	<b>5.33</b>	B	3	E	4
10/07/2017	6	8	6	<b>6.67</b>	A	3	D	4

## Anexo 5. Mediciones de pH.

Fecha	SA				SRA10		SRA5	
	Posa 1	Posa 2	Posa 3	Prom	sale	entra	sale	entra
11/04/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
15/04/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
20/04/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
25/04/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
28/04/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
05/05/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
03/06/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
19/06/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
23/06/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
30/06/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
03/07/2007	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7
10/07/2017	6.7	6.7	6.7	<b>6.70</b>	7	7	6.7	6.7