



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Región Poza Rica -Tuxpan

Especialización en Gestión e impacto ambiental

Título:

“Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico.”

PRESENTA:

Biól Mar. Luis Enrique Juárez Carballo

Director:

Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza.

Tuxpan, Veracruz

2016



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
MAESTRIA EN CIENCIAS DEL AMBIENTE

Revisión del trabajo de intervención del alumno: **Luis Enrique Juárez Carballo.**

JURADO EXAMINADOR

NOMBRE	FECHA	DICTAMEN	FIRMA
<u>Karla Cirila Garcés García</u>	<u>abr/12/2016</u>	<u>Aprobado</u>	
<u>Blanca Esther Raya Cruz</u>	<u>12/Abil/2016</u>	<u>Aprobado</u>	
<u>Maribel Ortiz Dominguez</u>	<u>12/IV/2016</u>	<u>Aprobado</u>	

En la presente revisión se acordó que el trabajo de intervención denominado **“Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico”** que presenta el sustentante para obtener el Título de Especialista, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

En el presente trabajo de intervención: **“Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico.”** realizado por el C. Luis Enrique Juárez Carballo, bajo la dirección del Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza, ha sido revisado y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

ESPECIALISTA EN GESTIÓN E IMPACTO AMBIENTAL



DR. EDUARDO ALFREDO ZARZA MEZA

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por permitir concluir esta etapa en mi vida.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por la beca otorgada durante la especialización.

A mi director de tesis **Dr. Eduardo Alfredo Zarza Meza**.

A la comisión lectora integrada por la **Dra. Maribel Ortiz Domínguez**, **M. C. Blanca E. Raya Cruz** y **M. C. Karla C. Garcés García**, por sus valiosos aportes al trabajo realizado.

Al **Dr. Ascensión Capistrán Barradas** por la ayuda brindada en los análisis estadísticos.

DEDICATORIA

A mis padres **Manuel** y **Dominga** por su infinito apoyo en cada decisión tomada, por estar presente en sus oraciones, así mismo a mis **hermanos y amigos**.

"Porque sabes que querer no es suficiente y sabes que debes actuar"... -Brociencia-

ÍNDICE

I.- INTRODUCCIÓN.....	1
II.- ANTECEDENTES	3
III.- OBJETIVOS	11
Objetivo general.....	11
Objetivos particulares	11
IV.- ÁREA DE ESTUDIO	12
V.- MATERIALES Y MÉTODOS	14
5.1 Características de la granja acuícola	14
5.2 Sistemas de cultivo vegetal.....	14
5.2.1 Sistema tipo NFT	14
5.2.2 Sistema de camas con sustratos	15
5.3 Diseño experimental.....	16
5.4 Introducción de organismos.....	17
5.5 Obtención de plantas	18
5.5.1 Fase de germinación:	18
5.5.2 Fase de trasplante:.....	19
.....	20
5.6 Régimen alimenticio de los peces.....	20
5.7 Evaluación de Parámetros	21
5.7.1 Parámetros biológicos	21
5.7.2 Parámetros Fisicoquímicos.....	22
5.8 Costo de inversión.....	23
5.9 Análisis estadístico	23
VI.- RESULTADOS	24
6.1 Evaluación de parámetros biológicos.....	24
6.1.1 Tasa de crecimiento.....	24

6.1.1.1 Peso	25
6.1.1.2 Talla.....	27
6.1.2 Tasa de sobrevivencia.....	28
6.1.2.1 Organismos acuáticos.....	28
6.1.2.2 Vegetales.....	29
6.1.3 Factor de Conversión Alimenticia (FCA)	30
6.2.- Evaluación de los parámetros fisicoquímicos.....	31
6.3 Biomasa	33
6.3.1 Organismos experimentales.....	33
6.3.2 Vegetales.....	33
VII.- DISCUSIÓN.....	35
VIII.- CONCLUSIONES	41
IX.- APLICACIÓN PRÁCTICA.....	42
X.- BIBLIOGRAFÍA.....	45

Índice de cuadros

Cuadro 1.- Crecimiento en peso (g) y talla promedio (cm) de los organismos de tilapia gris (O. niloticus) utilizados en ambos tratamientos (promedio \pm Desv. est.).....	24
Cuadro 2.- Factor de Conversion Alimenticia obtenido por los organismos de ambos tratamiento en la duración del proyecto.....	30
Cuadro 3.- Promedio de las concentraciones de OD, pH, NH ₃ , NO ₂ , NO ₃ y temperatura registradas durante 120 días de experimento.	32
Cuadro 4.- Biomasa obtenida en ambos tratamientos al inicio y final del experimento.....	33
Cuadro 5.- Biomasa obtenida de vegetales al final del experimento.....	34
Cuadro 6.- Lista general de precios de los materiales utilizados para la instalación del sistema acuapónico	57

Índice de figuras

Figura 1.- Ubicación geográfica del municipio de Álamo Temapache, donde se implementó el sistema acuapónico	12
Figura 2.- Instalación del sistema acuapónico tipo NFT	15
Figura 3.- Sistema acuapónico en cama de sustratos.	16
Figura 4.- Organismos de tilapia gris (<i>O. niloticus</i>) introducidos a los sistemas experimentales.	18
Figura 5.- Germinación de las semillas en las charolas adaptadas.	19
Figura 6.- Trasplante de las plántulas al sistema acuapónico de tipo NFT	20
Figura 7.- Comparación del crecimiento en peso promedio de los alevines de tilapia gris (<i>O. niloticus</i>) de los dos sistemas evaluados.	26
Figura 8.- Comparación del crecimiento en talla obtenido por los organismos de los sistemas evaluados.	27
Figura 9.- Tasa de sobrevivencia obtenida por los organismos acuáticos al implementar el sistema acuapónico en comparación con el sistema convencional durante 120 días.	28
Figura 10.- Tasa de sobrevivencia de las plantas obtenida durante la implementación del sistema acuapónico.	29

RESUMEN

“Evaluación de los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico”.

Luis Enrique Juárez Carballo.

Se evaluaron los parámetros biológicos de la tilapia gris *Oreochromis niloticus* mediante la implementación de un sistema acuapónico en el cual se sembraron tres especies de vegetales diferentes: *Lycopersicum esculentu* (Tomate), *Capsicum annum* (Chile) y *Beta vulgaris* (Acelga) y se comparó con un sistema convencional durante 120 días experimentales, dicho sistema acuapónico se dividió en dos: NFT (Nutrient Film Technique) y cama con sustratos, cada uno con 20 plantas de las diferentes especies de vegetales, los resultados obtenidos en el bioensayo muestran que la implementación del sistema acuapónico fue exitoso debido a que los peces cultivados con el sistema acuapónico obtuvieron un peso promedio final de 100.2 g y una talla de 18.03 cm, mientras que el sistema convencional registró 87.82 g en peso promedio y 17.24 cm Lt, presentando estadísticamente diferencias significativas $P < 0.05$, así mismo se obtuvieron los mejores resultados en la Tasa de Supervivencia y Factor de Conversión Alimenticia. Dentro de los tipos de sistemas acuapónicos, el de cama con sustratos mostró los mejores resultados debido a que se produjo 1.384 kg de tomate y 0.443 kg de chile. Por otra parte en el sistema NFT únicamente se obtuvo 0.160 kg de acelga, económicamente es más viable la implementación de sistemas acuapónicos en cama con sustratos debido a que se obtuvo mayor producción con una menor inversión.

Palabras clave: Acuaponía, Tilapia gris, *Oreochromis niloticus*, vegetales, cama con sustratos, NFT (Nutrient Film Technique).

I.- INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que al transcurrir los años se ha ido agotando por diversos factores como el crecimiento poblacional que repercute en una mayor demanda de este elemento (Brander, 2007), por otro lado, las actividades agropecuarias desarrolladas generan la mayor parte del problema en la disminución, debido a que se utilizan 70% de las reservas mundiales de agua potable aproximadamente (CNA, 2008), ante estos problemas surgen nuevas alternativas tecnológicas agrícolas que están reduciendo la cifra antes mencionada, como la técnica de la hidroponía y recientemente la implementación de sistemas acuapónicos (Stover, 2009 en Rubio, 2012).

La hidroponía es una actividad de alta producción y su característica principal es la reducción en el consumo de agua, requiere poco espacio para el crecimiento de las raíces de los vegetales sembrados (Rodríguez, 2002). En cambio, la acuicultura enfrenta uno de sus principales retos enfocándose en el manejo adecuado de sus aguas residuales que contienen sólidos que son vertidos en suelos o cuerpos de agua, produciendo impactos negativos contaminando el ambiente. Los sistemas de recirculación acuícola y tratamiento de aguas residuales son una alternativa para mitigar estos daños (Pillay y Kutty, 2005).

Actualmente, las investigaciones han demostrado que los efluentes generados por la actividad acuícola pueden ser aprovechados para nutrir al cultivo vegetal

sembrado en los sistemas hidropónicos (Lennard y Leonard, 2006). La acuapónica es un sistema por el cual los residuos generados por algún organismo acuático son convertidos por medio de acción bacteriana en nutrientes que son aprovechados por los vegetales (Van-Gorder, 2000; Parker, 2002). Entonces, ésta técnica es una alternativa tecnológica que va dirigida al desarrollo sustentable (Rakocy, 2005).

El uso sustentable del agua en los sistemas acuapónicos disminuye el daño generado al ambiente, presentando además una forma sostenible de producción de alimentos, tanto animales como vegetales. Éste tema en el municipio de Álamo Temapache resulta de gran interés por tener las condiciones climáticas para implementar estos sistemas. Por todo lo anterior, se propone realizar un sistema acuapónico para evaluar la producción de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) midiendo la tasa de crecimiento y sobrevivencia, a la vez que se producen vegetales como Tomate (*Lycopersicum esculentu*), Chile (*Capsicum annum*) y Acelga (*Beta vulgaris*),

II.- ANTECEDENTES

2.1 La acuicultura

La acuicultura es la técnica que permite aumentar la producción por medio del cultivo de animales y vegetales acuáticos para consumo humano mediante un ambiente controlado (FAO, 2016). Por si misma representa una actividad productiva en el sector agropecuario. En México, el progreso de la acuicultura ha venido incrementándose significativamente en los últimos años debido a la demanda de su producción y el alto valor nutritivo de las especies cultivadas. El alto potencial de desarrollo de la actividad acuícola debe superar algunos retos como la reducción del volumen de agua requerida, mejorar la cantidad y calidad de los residuos generados (Bocek, 2007).

2.1.1 Problemática de la acuicultura y su alternativa para resolverla.

Los sistemas de producción acuícola básicos son considerados como poco contaminantes. Sin embargo, generan problemas al ambiente por la modificación de suelos y de los cursos de agua así como cambios en su temperatura. De igual manera, causan disminución en la concentración de oxígeno disuelto, aumento en la concentración de sólidos en suspensión, en la demanda biológica de oxígeno y en la demanda química de oxígeno, así mismo compuestos de nitrógeno, desarrollo excesivo de algas y eutrofización al momento de sus descargas (Iturbide, 2008).

Para contrarrestar lo antes mencionado, surgió la acuaponía, fusionando la acuicultura con la hidroponía y se define como el cultivo de peces y plantas en un sistema de recirculación (Rakocy *et al*, 2003). Hoy en día esta actividad está siendo muy utilizada porque es un sistema biointegrado para producir alimentos, además de adaptarse a los sistemas de circulación de agua en acuicultura (Diver, 2006), dada su importancia, se siguen realizando investigaciones que ayuden a mejorar esta nueva tendencia de producción.

2.1.2 Estudios del desarrollo de la acuaponia a través del tiempo

La implementación de sistemas acuapónicos se ha venido manejando desde hace miles de años. En la antigua China surgieron los primeros sistemas integrados, los cuales son la base de los sistemas modernos. Sin embargo, la producción era escasa; En Perú realizaban excavaciones para construir estanques cerca de las casas dejando un pequeño montículo de tierra en medio de esta y una vez lleno el estanque de agua introducían peces, posteriormente los gansos se alimentaban de esos organismos y al excretar sobre el montículo éste se fertilizaba a través de sus desechos aumentando la disponibilidad de nutrientes para poder sembrar vegetales (Jones, 2002).

En México la acuaponía se ha practicado desde la época de los aztecas quienes cultivaban peces junto con vegetales en estructuras llamadas chinampas, éstas se construían en lagos a una profundidad de un metro y medio máximo, en pantanos o en islas artificiales. Los residuos generados por la actividad se mantenían en el

fondo de los canales, posteriormente éstos efluentes eran recolectados para fertilizar las plantas (Boutwell, 2007).

A principios de los años 70 se tuvieron registros de la implementación de sistemas acuapónicos con una forma mejor estructurada. Se puede mencionar que el pionero en este ámbito fue McLarney (1972) quien realizó un bioensayo en el cual tenía un control de riego sobre distintas especies de vegetales, donde un tratamiento era regado con agua no contaminada y al otro con agua que provenía de los efluentes de un estanque donde se cultivaba tilapia, de esta manera los resultados obtenidos durante el desarrollo del experimento fueron positivos al obtener mayor crecimiento en peces y vegetales.

Años más tarde Lewis y colaboradores (1978) realizaron un estudio basado en un sistema de recirculación de agua e incluso se puede afirmar que fue el primero en su tipo, integrando producción de peces, filtración biológica e hidroponía, en ese proyecto se introdujeron bagre de la especie *Ictalurus punctatus* así como plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), donde los resultados obtenidos fueron aceptables, debido a que la tasa de sobrevivencia fue alta y la producción de los vegetales fue mejor al que se tendría en campo.

Dentro de la década de los 80 sobresale Rakocy (1989) por sus varias colaboraciones en estudios relacionados con la acuaponía realizados en la Universidad de las Islas Vírgenes en donde hace investigaciones acerca del

desarrollo del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) mediante la implementación de un sistema acuapónico, así mismo realizó una investigación sobre los aspectos determinantes en la identificación de problemas que se pueden presentar al implementar un sistema de acuapónico (Rakocy y Nair, 1987).

En los años 90 surgen nuevas técnicas de cultivos acuapónicos donde Durham, (1992) instala camas especiales para hidroponía donde sembró vegetales, utilizando sustratos como la grava de río dentro de un invernadero casero; en este bioensayo sólo se fertilizó con alimento que contenía 40% de proteína, los resultados obtenidos en el estudio fueron aceptables teniendo una producción de tilapia de 680 kg en un rango de tiempo de 7 a 12 meses.

A finales de esta década McMurtry y Sanders (1997) experimentaron a través del recirculamiento de los residuos generados por un contenedor de tilapia, estos efluentes eran dirigidos hacia camas de sustratos cubiertas con arena, estas camas contenían jitomate y pepino sembrados, al mismo tiempo tenían la función de actuar como biofiltro, los resultados obtenidos durante el proyecto fueron muy contundentes al tener buena producción en el desarrollo de peces y vegetales (McMurtry y Sanders, 1997, en Diver, 2006).

Los avances tecnológicos se incrementaron después del año 2000 pero también se acrecentó la preocupación por la disponibilidad del agua para la población mundial, ante esta problemática fue necesario para la actividad acuícola buscar

alternativas donde el uso del recurso hídrico se realice de una forma responsable y por otro lado que se vean como opciones para reducir costos, de esta forma se comienza ver a la acuaponía como una alternativa sustentable, compatible con el cuidado del ambiente, pero al mismo tiempo como una actividad potencial para generar más ingresos, utilizando los residuos que produce la acuicultura (Adler *et al.* 2000).

En busca de nuevos sistemas de producción acuícola y con métodos acuapónicos actualizados se intensificaron las investigaciones tratando de conocer la relación entre peces, agua y vegetales, tal es el caso del trabajo desarrollado por García y colaboradores (2005) en Guadalajara Jalisco México, donde hicieron bioensayos, introduciendo peces en un estanque de fibra de vidrio y sembraron plantas de pepino en canales del mismo material con tres tipos de sustrato diferentes, en los que se sembraron bacterias benéficas nitrificantes en las camas 15 días después de haber introducido ejemplares de tilapia y 15 días más tarde se hizo el trasplante de los organismos vegetales, obteniendo resultados favorables en el desarrollo de los organismos acuáticos y vegetales.

Posteriormente, Segovia (2008) aprovechó los residuos generados de un cultivo de tilapia *Oreochromis niloticus* a través de un sistema acuapónico al que se le sembraron plantas de fresa de la especie *Fragaria ananassa* variedad camarosa, evaluando la tasa de crecimiento de los peces y la tasa de conversión alimenticia,

aunque existieron deficiencias de nutrientes en el sistema para el desarrollo de las plantas, se obtuvieron resultados aceptables para el desarrollo de los organismos.

También se han elaborado investigaciones desde otro enfoque como el realizado por Iturbide (2008) en Guatemala donde se pretendió utilizar plantas acuáticas con potencial acuapónico para ser implementadas como agentes biorremediadores de los residuos generados por los cultivos de tilapia, a través de un estudio basado en la caracterización de los parámetros fisicoquímicos registrados en las descargas de la actividad, se concluyó que las características obtenidas en los efluentes presentan una alternativa viable para la implementación de sistemas acuapónicos como agentes de biorremediación..

Por otro lado en Guasave Sinaloa se elaboró un trabajo sobre la producción de tilapia gris *Oreochromis niloticus* y lechuga romana acropolis *Lactuca sativa* a través de la implementación de sistemas acuapónicos, para este caso se utilizaron dos tipos de sistemas: uno con recirculación de agua sin recambio y otro sin recirculación con recambio parcial de agua, los resultados obtenidos mostraron que el sistema de recirculación sin recambio fue más eficiente al presentar mayor tasa de crecimiento tanto en los peces como en los vegetales sembrados a diferencia del sistema sin recirculación con recambio parcial de agua (Rubio, 2012).

En Querétaro, México. Ontiveros (2013) implementó un sistema acuapónico de autoconsumo. Esta propuesta se basó en el diseño de sistemas para cultivar cualquier tipo de hortalizas de forma orgánica dentro del hogar, para esto, fue necesario realizar estudios de mercado en base a consumidores de productos orgánicos, al mismo tiempo se efectuaron análisis para seleccionar el tipo de vegetales a sembrar.

En la Universidad Autónoma de Guanajuato se instaló un sistema acuapónico a pequeña escala, evaluando la producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y plantas de albahaca, la rentabilidad económica, la tasa de sobrevivencia así como la biomasa generada por peces y vegetales, al finalizar el estudio se registró 90% en la tasa de sobrevivencia tanto de peces como de vegetales (Regalado, 2013).

Flores-Ochoa y Madrid-Junior (2013) en Honduras, implementaron un sistema acuapónico cuya finalidad fue comparar la producción de cuatro cultivos de lechuga con *Oreochromis niloticus* utilizando un sistema de láminas; los resultados fueron bastante exitosos ya que reportaron el 99.6% en la tasa de sobrevivencia de los organismos acuáticos y 96.5% en los vegetales, así como una ganancia diaria de peso de 2.7 g por organismo.

En Veracruz se realizó un invernadero urbano con el objetivo de producir proteína animal a través de un cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) y la producción de vegetales como lechuga, alfalfa y albahaca, los datos obtenidos muestran que los

peces alcanzaron un peso de 165 g por organismo, de esta manera el peso obtenido en el experimento fue considerado apto para su consumo al igual que los vegetales sembrados, se concluyó que la implementación del sistema acuapónico fue de manera exitosa (Kanchi, 2013).

Recientemente en Perú un estudio demostró el crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa*) mediante los residuos producidos por un cultivo de tilapia roja (*Oreochromis spp*), el trabajo se efectuó mediante un sistema acuapónico de la Técnica de Solución Nutritiva (NFT), para esto se realizó la evaluación de dos tratamientos con dos densidades de siembra 50 y 25 organismos. Al final se concluyó que se presentaron mayor crecimiento de vegetales *L. sativa* en el sistema acuapónico NFT donde fueron sembrados 50 individuos (Moreno y Zafra, 2014).

Se ha observado que *Oreochromis niloticus* debido a su fácil manejo y rápido crecimiento, ha sido utilizado por diversos autores en el desarrollo de sus proyectos acuapónicos, por lo que el objetivo general de este proyecto fue evaluar los parámetros biológicos esta misma especie calculando la tasa de sobrevivencia, tasa de crecimiento, tasa de conversión alimenticia mediante la implementación de un sistema acuapónico.

III.- OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los parámetros biológicos (sobrevivencia, tasa de crecimiento, tasa de conversión alimenticia) de la tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) mediante la implementación de un sistema acuapónico en comparación con un sistema convencional.

Objetivos particulares

Evaluar la tasa de crecimiento en peso y talla de los organismos acuáticos del sistema convencional y con el sistema acuapónico.

Determinar la tasa de sobrevivencia de los peces y vegetales sembrados en el sistema acuapónico.

Establecer el factor de conversión alimenticia obtenido en los tratamientos comparados.

Evaluar los parámetros fisicoquímicos del agua para ambos tratamientos.

Comparar la biomasa total obtenida por los organismos en cada uno de los tratamientos al final del proyecto.

IV.- ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se realizó en el municipio de Álamo Temapache el cual se encuentra ubicado en la zona norte del Estado de Veracruz (Figura 1), entre los paralelos $20^{\circ} 47'$ y $21^{\circ} 12'$ de latitud norte; los meridianos a $97^{\circ} 30'$ y $97^{\circ} 56'$ de longitud oeste, a una altura entre 10 y 500 metros sobre el nivel del mar (PIGMEUM, 2009), específicamente en las instalaciones de la Granja Acuícola “El alevín”.



Figura 1.- Ubicación geográfica del municipio de Álamo Temapache, donde se implementó el sistema acuapónico

El clima que predomina en esta zona es semicálido, semiárido, con lluvias en verano; la temperatura media anual oscila entre 22 y 26° C por lo que se encuentra en condiciones aptas para el desarrollo de la actividad acuícola y cultivo de vegetales; además esta zona cuenta con regiones hidrológicas como las de Tuxpan-Nautla, Cuenca R. Tuxpan, Subcuenca R. Tuxpan, R. Pantepec, R. Vinazco, R. Buenavista y Tecomate, Corrientes de agua Perennes: Las Cañas y Vinazco Intermitente: Buenavista, Cuerpos de agua Perenne: Tuxpan. (PIGMEUM, 2009).

V.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Características de la granja acuícola

La granja acuícola es una unidad a pequeña escala ya que cuenta con medidas de 20 m de ancho por 30 m de largo, en donde están instalados cinco estanques circulares de tres metros de diámetro y 1.30 metros de profundidad de fondo cónico y una presa de seis metros de largo por cinco metros de ancho y una profundidad de 1.5 metros.

A continuación se presentan las fases para la implementación del sistema acuapónico.

5.2 Sistemas de cultivo vegetal

5.2.1 Sistema tipo NFT

La figura 2 muestra la construcción de un sistema de tipo NFT (Nutrient Film Technique) que se caracteriza por no utilizar sustrato, para la instalación de un sólo sistema se utilizaron dos tubos de Policloruro de vinilo (PVC) perforados cada 30 cm con un diámetro de seis centímetros, cada tubo mide tres metros de largo y tres pulgadas de diámetro los cuales fueron unidos con codos del mismo material y con diámetro de tres pulgadas, para hacer recircular el agua se necesitó una cabeza de poder marca AquaJet con filtro incluido de 12 watts conectada a una manguera plástica que subió el agua de los estanques hacía el sistema NFT, la recirculación de este sistema suministró los nutrientes necesarios a las plantas por medio de las raíces las cuales cuelgan desde unas canastillas que se adaptaron a

las perforaciones realizadas en los tubos de PVC para que la planta crezca y se desarrolle adecuadamente, es importante mencionar que se instalaron dos sistemas de este tipo, uno para cada estanque donde se sembraron plantas de chile, tomate y acelga.



Figura 2.- Instalación del sistema acuapónico tipo NFT

5.2.2 Sistema de camas con sustratos

La figura 3 muestra el sistema de cama con sustratos. Para la instalación de este sistema solamente se acondicionó una construcción de blocks con divisiones que ya existía en la granja, estas divisiones son tres con una medida de un metro de largo por un metro de ancho cada una. Cada compartimento se llenó con grava, arena, tezontle y sustrato orgánico (peat moss), posteriormente se adecuó el

sistema de riego el cual fue a base de tubos de PVC con perforaciones de un centímetro de diámetro conectados a una cabeza de poder marca AquaJet de 12 watts para subir el agua del estanque por medio de una manguera plástica para tener un sistema de riego por goteo.



Figura 3.- Sistema acuapónico en cama de sustratos.

5.3 Diseño experimental

Se distribuyeron al azar 800 alevines de tilapia gris de la especie *Oreochromis niloticus* a una densidad de siembra de 200 organismos (Barahona, 2012) en cuatro estanques de 10,000 litros de agua de capacidad aproximadamente. Dos estanques fueron acondicionados de forma convencional, es decir, como se ha venido practicando desde sus inicios, realizando recambios parciales de agua con

15 minutos de bombeo cada tercer día, además se conectaron piedras difusoras a través de un compresor de aire para mantener el agua oxigenada, estos estanques son tomados como control y en los dos estanques restantes se instaló el sistema acuapónico como experimental, cada tratamiento se realizó con una repetición.

5.4 Introducción de organismos

Para la introducción de los peces éstos fueron capturados mediante una red de malla plástica de tramado fino (aprox 1mm) para evitar ser maltratados (figura 4), posteriormente fueron contados y colocados en una cubeta con capacidad de 20 litros de agua, inmediatamente fueron trasladados a los estanques destinados para los tratamientos. Durante este proyecto se utilizó por cada estanque 200 tilapias grises de la especie *Oreochromis niloticus* en su etapa de alevín con un peso promedio de 7.1 g para los peces utilizados en el sistema acuapónico y 7.7 g para los del sistema convencional.



Figura 4.- Organismos de tilapia gris (*O. niloticus*) introducidos a los sistemas experimentales.

5.5 Obtención de plantas

5.5.1 Fase de germinación:

La siembra de semillas se realizó de forma indirecta, mediante charolas de germinación. En este caso se utilizarón conos de cartón donde son comercializados los huevos (figura 5), en cada división se depositó tierra para plantas, colocando de tres a cuatro semillas de las especies *Capsicum annum* (Chile), *Lycopersicum esculentu* (Tomate) y *Beta vulgaris* (Acelga) a una profundidad máxima de un centímetro, posteriormente con un rociador de agua se

regó la charola que contenía las semillas para humedecerla y se mantuvo tapada con papel periódico para acelerar la germinación.



Figura 5.- Germinación de las semillas en las charolas adaptadas.

5.5.2 Fase de trasplante:

Una vez que germinó la semilla y obtuvo dos o cuatro hojas verdaderas, se trasplantó a la cama de sustratos y a los orificios del sistema NFT mediante vasos plásticos de 100 ml de capacidad los cuales fueron perforados en la parte inferior para colocar el vegetal (Figura 6). Para tener un trasplante exitoso primero se hidrató muy bien el sustrato donde se obtuvieron las plántulas, después, el sustrato se fue removiendo con ayuda de un palillo sin fracturar el vegetal. En seguida la raíz se sumergió en agua limpia después de haberla sacado del

semillero, así se logró que se limpie y que se acomode sola en el vaso contenedor sin manipular la raíz.



Figura 6.- Trasplante de las plántulas al sistema acuapónico de tipo NFT

5.6 Régimen alimenticio de los peces

Para determinar la cantidad de raciones diarias, primero se calculó la biomasa que contenía cada estanque, la biomasa es un término que indica cuanto peso vivo hay en el cultivo (Arboleda y Duvan, 2005). Posteriormente se calculó la ración diaria de alimento que se proporcionó a los peces.

$$B = P \times N$$

Dónde:

B= Biomasa

P= Peso promedio de los peces

N= Número total de peces en la pecera

La ración diaria se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$RD = B \times \% / 100$$

Para la cantidad de alimento por frecuencia se dividió la ración diaria entre el número de veces que se les suministró el alimento a los peces. El alimento que se proporcionó a los alevines fue de 35% de proteína de la marca Malta Cleyton, este se aplicó cada dos horas a un 5.8 % de la biomasa al inicio del proyecto, en cinco raciones diarias en un horario de 9:00 a 17:00 hrs, el alimento fue ajustado quincenalmente dependiendo de la cantidad existente de organismos en los estanques.

5.7 Evaluación de Parámetros

5.7.1 Parámetros biológicos

Para el análisis de la **tasa de crecimiento** se realizaron biometrías quincenalmente a partir del inicio del proyecto, con una muestra del 10% de los organismos sembrados en cada estanque, con el objetivo de evaluar su crecimiento en talla (cm) y peso (g), por otra parte para determinar la talla se utilizó un ictiometro de 50 cm, para calcular el peso se utilizó una balanza electrónica con capacidad de 0.1 a 5000 g marca Snova.

Respecto a la tasa de sobrevivencia, se realizaron registros visuales diarios y quincenalmente obteniéndose un porcentaje de dicha sobrevivencia mediante la siguiente fórmula:

Tasa de sobrevivencia (TS)= Sobrevivencia indica el porcentaje del número final de animales (Cruz *et al.*, 1993).

$$TS = \frac{N^{\circ} \text{ final de animales}}{N^{\circ} \text{ inicial de animales}} \times 100$$

Para el cálculo de la tasa o factor de conversión alimenticia se aplicó la siguiente expresión:

Tasa de conversión alimenticia (T.C.A)= Gramos de alimento consumido por gramos de peso corporal ganado (Cruz *et al.*, 1993).

$$\textit{Tasa de conversión alimenticia} = \textit{alimento consumido} */\textit{Peso ganado} **$$

*Como alimento seco consumido

** Peso fresco o húmedo ganado

5.7.2 Parámetros Fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se tomaron quincenalmente mediante kits de la marca Nutrafin test, considerando las variables: oxígeno disuelto, temperatura, pH, amonio, nitritos y nitratos.

5.8 Costo de inversión

Para conocer el costo de inversión del sistema acuapónico se realizó un análisis económico sencillo tomando en cuenta los gastos de cada uno de los materiales utilizados para su construcción, de esta manera se pudo conocer que tan rentable es implementar este tipo de sistemas.

5.9 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza factorial para detectar si existen diferencias significativas en el crecimiento en peso y talla de los organismos entre cada tratamiento, posteriormente se efectuó una prueba de Tukey para detectar en que días existieron diferencias significativas, estas pruebas estadísticas se realizaron con el programa estadístico STATISTICA 7.

VI.- RESULTADOS

6.1 Evaluación de parámetros biológicos

6.1.1 Tasa de crecimiento

El cuadro 1 sintetiza los valores promedio obtenidos en el peso y talla de los organismos del sistema acuapónico y convencional durante el desarrollo del proyecto.

Cuadro 1.- Crecimiento promedio en peso (g) y talla (cm) de los organismos de tilapia gris (*O. niloticus*) utilizados en ambos tratamientos (promedio \pm Desv. est.).

Días	Peso		Talla	
	S. Acuapónico	S. Convencional	S. Acuapónico	S. Convencional
0	7.1 \pm 2.41 ^G	7.7 \pm 1.98 ^G	7.8 \pm 0.85 ^H	7.8 \pm 0.76 ^H
15	15.6 \pm 1.98 ^G	16.3 \pm 5.91 ^G	10.3 \pm 1.15 ^G	10.4 \pm 1.16 ^G
30	35.2 \pm 10.7 ^F	35.5 \pm 10.17 ^F	12.8 \pm 1.41 ^F	12.8 \pm 1.14 ^F
45	52.9 \pm 14.39 ^E	38.6 \pm 10.09 ^F	14.7 \pm 1.40 ^E	13.7 \pm 1.24 ^F
60	63.5 \pm 13.44 ^{CDE}	55.5 \pm 7.50 ^{DE}	15.9 \pm 1.06 ^{CD}	15.5 \pm 0.72 ^{DE}
75	70.9 \pm 18.58 ^C	66.2 \pm 15.86 ^{CD}	16.6 \pm 1.41 ^{BC}	15.7 \pm 1.17 ^{CD}
90	86.4 \pm 18.18 ^B	70.7 \pm 14.78 ^C	17.3 \pm 1.32 ^{AB}	16.3 \pm 0.95 ^{BCD}
105	92.1 \pm 26.14 ^{AB}	74.5 \pm 16.54 ^C	17.7 \pm 1.81 ^A	16.5 \pm 1.22 ^{BC}
120	100.2 \pm 23.47^A	87.8 \pm 19.55 ^B	18.0 \pm 1.38^A	17.24 \pm 1.26 ^{AB}

* Letras iguales indican grupos homogéneos

6.1.1.1 Peso

Los pesos promedio de los peces al inicio del ensayo fueron de 7.1 g para el sistema acuapónico y 7.7 g para el convencional, de acuerdo con el ANOVA no se presentaron diferencias significativas ($F=0.887$ g.l=1 $P=0.34$), por lo que cualquier variación en el peso observada durante los días restantes fue efecto de las condiciones de cada uno de los tratamientos empleados.

La figura 7 muestra el crecimiento del peso en gramos de los organismos (*Oreochromis niloticus*). Los peces en el sistema acuapónico aumentaron un peso promedio de 100.2 g al final del experimento, este aumento fue significativamente mayor ($F=5.1$, g.l= 8 $P<0.05$) con respecto al de los organismos en el sistema convencional (87.8 g).

Durante los primeros 30 días la mayor tasa de crecimiento en los peces la reportó el sistema convencional, sin embargo no existieron diferencias significativas con respecto al sistema acuapónico. A partir del día 45 los valores cambiaron favoreciéndose el peso de las tilapias del sistema acuapónico al presentar un peso promedio de 52.9 g, mientras que los peces del sistema convencional mostraron un peso promedio de 38.6 g, durante el resto del tiempo la tendencia siguió siendo la misma hasta culminar el proyecto, donde el sistema acuapónico obtuvo los mejores resultados al obtener diferencias significativas.

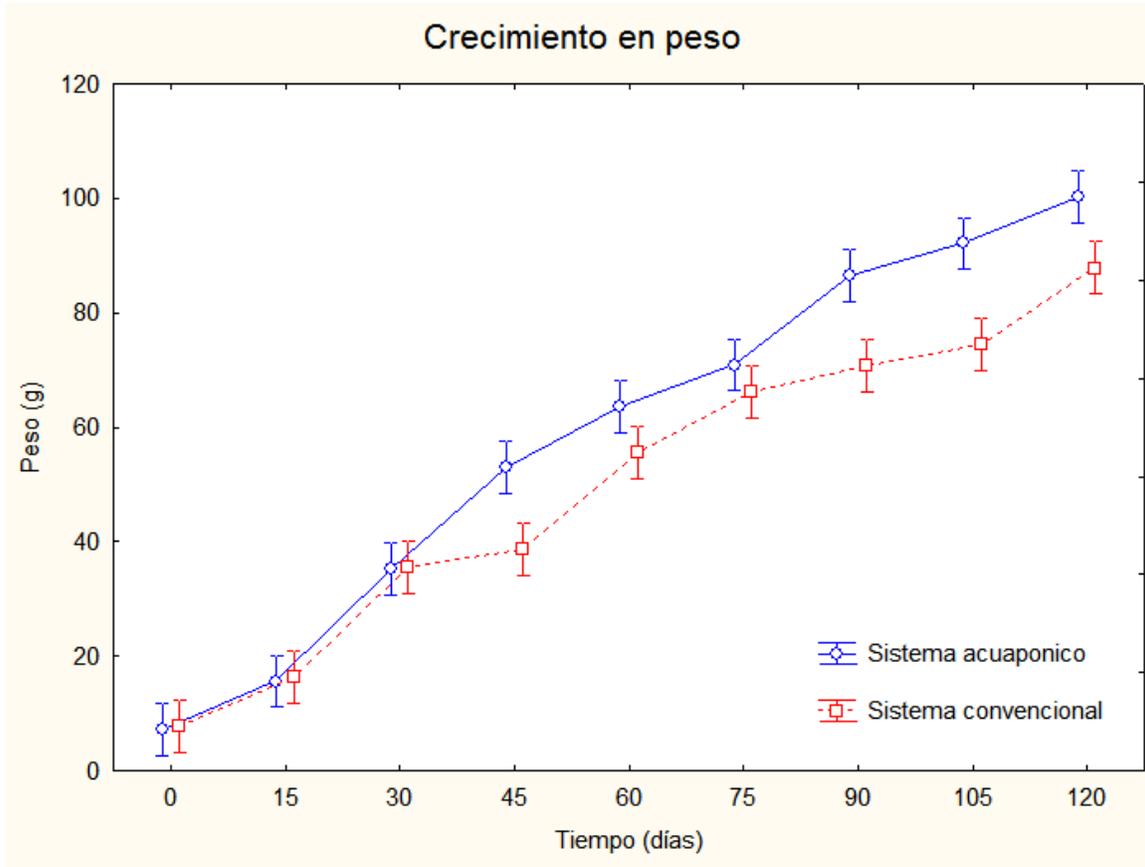


Figura 7.- Comparación del crecimiento en peso promedio de los alevines de tilapia gris (*O. niloticus*) de los dos sistemas evaluados.

6.1.1.2 Talla

En la figura 8 se muestra el crecimiento en talla de los peces del sistema acuapónico, en su mayoría superior a los organismos del sistema convencional, de esta forma, el análisis estadístico detectó que las diferencias significativas se encontraron a partir del día 45 de experimentación hasta el final del proyecto (120 días) favoreciéndose el sistema acuapónico ($F=3.5$, $g.l.= 8$, $P=0.01$).

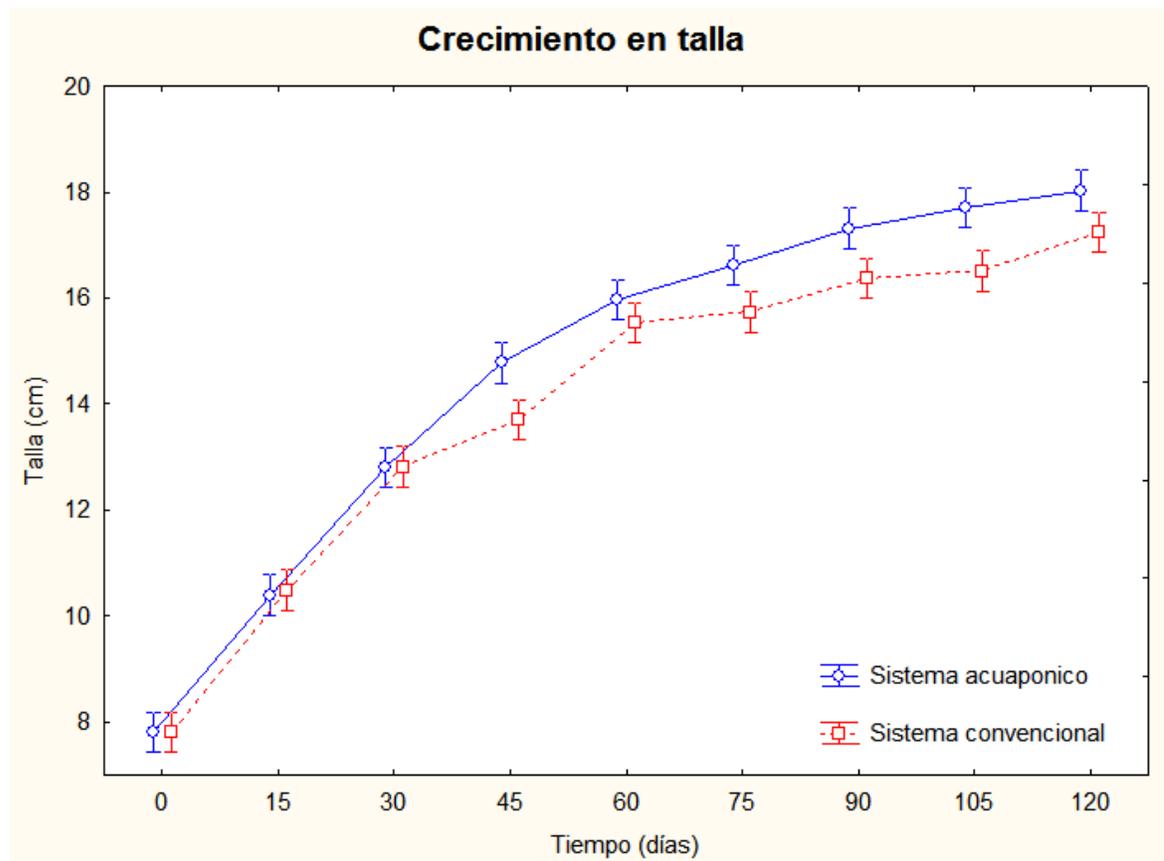


Figura 8.- Comparación del crecimiento en talla obtenido por los organismos de los sistemas evaluados.

6.1.2 Tasa de supervivencia

6.1.2.1 Organismos acuáticos

El sistema acuapónico registró una tasa de supervivencia de 99.8% tras haber transcurrido 75 días experimentación, posteriormente la tasa de supervivencia disminuyó a partir del día 90 alcanzando 99.5% cifra que se mantuvo hasta la finalización del bioensayo. Con respecto al sistema convencional la disminución en la supervivencia inició desde los 30 días (99.7%) y finalizó con 98.5% de supervivencia en los organismos (figura 9), sin que se presentaran diferencias significativas entre los tratamientos ($F=0.97$, $g.l=8$, $P=0.48$).

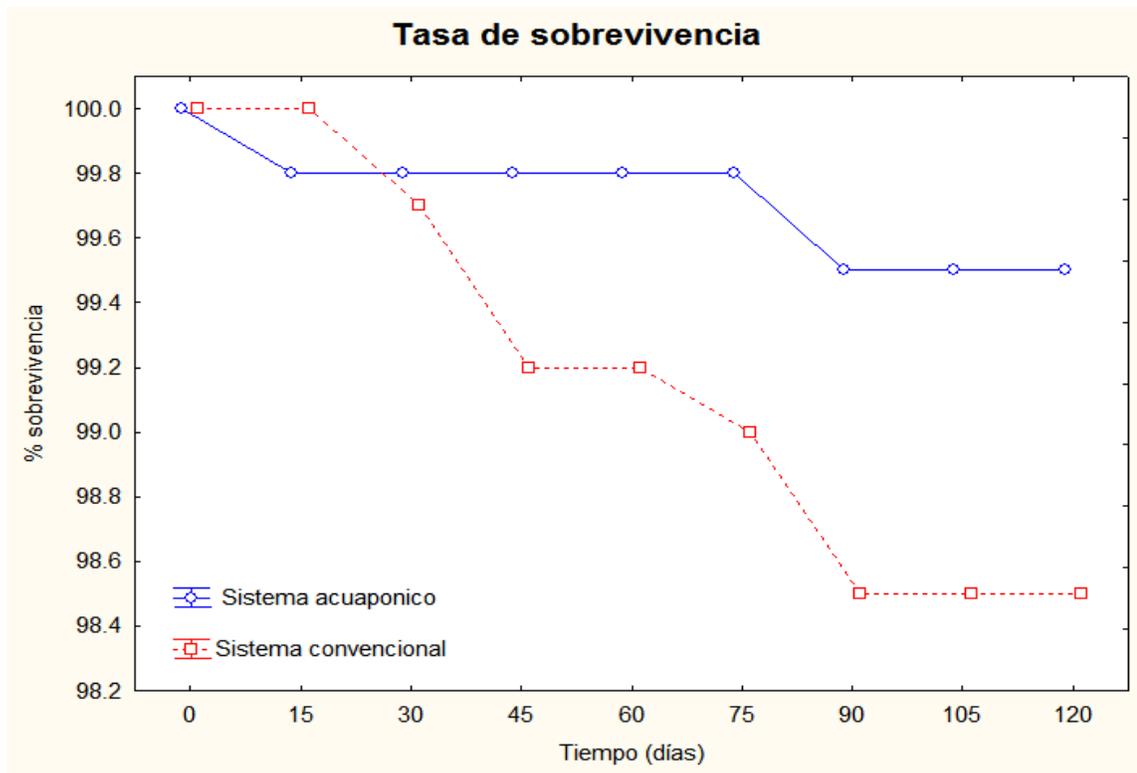


Figura 9.- Tasa de supervivencia obtenida por los organismos acuáticos al implementar el sistema acuapónico en comparación con el sistema convencional durante 120 días.

6.1.2.2 Vegetales

La tasa de sobrevivencia de los vegetales sembrados en el sistema acuapónico se mantuvo en 100%, en los primeros 30 días. Pero a partir del día 45 comenzó a decrecer hasta el 82.5%. Al finalizar el bioensayo (día 120) el valor en la tasa de sobrevivencia de los vegetales en el sistema acuapónico terminó reflejado en 60% (figura 10).

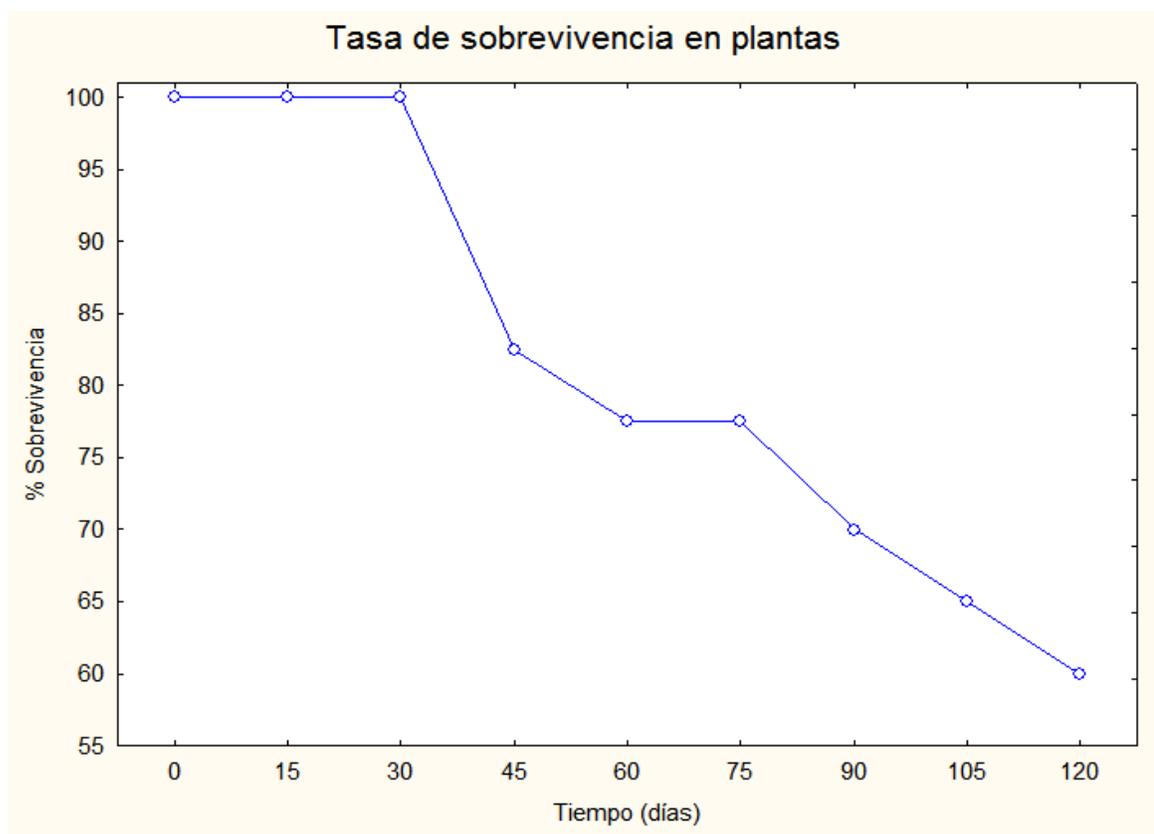


Figura 10.- Tasa de sobrevivencia de las plantas obtenida durante la implementación del sistema acuapónico.

6.1.3 Factor de Conversión Alimenticia (FCA)

Durante los días de alimentación el valor más bajo reportado del FCA en el sistema acuapónico fue de 0.91 en el día 60 y el más alto fue de 1.41 (cuadro 2), por otra parte, el sistema convencional obtuvo 1.06 siendo éste su valor mínimo en los días 45 y 75, mientras que el superior fue de 1.31, sin embargo estadísticamente no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($F=3.36$, $g.l=1$, $P=0.08$).

Cuadro 2.- Factor de Conversion Alimenticia obtenido por los organismos de ambos tratamiento en la duración del proyecto.

Tiempo (días)	Sistema Acuapónico (%)	Sistema Convencional (%)
15	1.41	1.31
30	1.18	1.13
45	1.07	1.06
60	0.91	1.26
75	0.92	1.06
90	1	1.18
105	1.06	1.3
120	0.97	1.22

6.2.- Evaluación de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos registrados en el periodo de experimentación, muestran que la concentración promedio de oxígeno disuelto en el sistema acuapónico fluctuó entre 5.7 mg/L al inicio y 4.3 mg/L al final, mientras que el rango del sistema convencional osciló entre 5.8 mg/L y 4.4 mg/L. El pH se mantuvo cercano a la neutralidad presentando valores de 7.2 - 8 para el sistema acuapónico y 7.4 - 8 para el sistema convencional (Cuadro 3).

Con respecto a las concentraciones de amoníaco (NH_3) el sistema acuapónico obtuvo un valor máximo de 3 mg/L en los días 90 y 105 del experimento y para el sistema convencional se registró un valor máximo de 2.4 mg/L al finalizar el proyecto, en cuanto a la cantidad de Nitritos (NO_2 mg/L), la mayor concentración en el sistema acuapónico fue de 3,6 mg/L, mientras que la menor concentración fue de 0.1 mg/L, a su vez, el sistema convencional presentó un valor mínimo de 0.1 mg/L y un valor máximo de 3.5 mg/L.

En relación con los Nitratos (NO_3 mg/L) en el sistema acuapónico las mayores concentraciones se obtuvieron a partir del día 90 y se mantuvo en incremento hasta el final del experimento con un valor de 100 mg/L, el valor mínimo registrado fue de 0.5 mg/L, las concentraciones máximas en el sistema convencional se obtuvieron a partir del día 105 con 100 mg/L, mientras que la concentración mínima fue durante el inicio del proyecto con 0.5 mg/L.

La temperatura promedio del agua en el sistema acuapónico presentó un valor mínimo de 28 °C y 28.2 °C para el sistema convencional, mientras que, la temperatura máxima registrada fue de 31 °C para ambos tratamientos, otro punto fue la temperatura promedio del ambiente la cual osciló entre 28-33 °C durante el desarrollo del experimento.

Cuadro 3.- Promedio de las concentraciones de OD, pH, NH₃, NO₂, NO₃ y temperatura registradas durante 120 días de experimento.

Tratamientos	Parámetros	0	15	30	45	60	75	90	105	120	
S. Acuaponico	OD mg/L	5.7	5.4	5.2	5.1	5	4.8	4.6	4.4	4.3	
	PH	7.2	7.6	7.8	7.9	7.6	7.6	7.9	8	8	
	AMONIACO mg/L	0.6	0.6	0.9	1.2	1.8	2.4	3	3	2.9	
	NITRITOS mg/L	0.1	0.1	0.8	1.6	2.4	3.3	3.3	3.5	3.6	
	NITRATOS mg/L	0.5	10	35	50	50	75	100	100	100	
	TEMPERATURA °C										
	AGUA	29.5	28	28.7	29.5	31	30	28.2	30	30.5	
AMBIENTE	33	32	28	30	33	32	33	32	33		
S. Convencional	OD mg/L	5.8	5.7	5.5	5.2	5.1	5.1	4.9	4.7	4.4	
	PH	7.4	7.8	8	7.8	7.7	8	8	7.8	8	
	AMONIACO mg/L	0.6	0.9	0.6	1.2	1.2	1.8	0.6	2.2	2.4	
	NITRITOS mg/L	0.1	0.4	0.8	0.8	1.6	3.3	0.8	3.4	3.5	
	NITRATOS mg/L	0.5	20	20	35	35	35	50	100	100	
	TEMPERATURA °C										
	AGUA	29.5	28.5	29.5	30	30.5	30	28.2	30.5	31	
AMBIENTE	33	32	28	32	33	32	33	32	33		

6.3 Biomasa

6.3.1 Organismos experimentales

La biomasa obtenida por los organismos de tilapia gris (*O. niloticus*) en el sistema acuapónico alcanzó un total de 39.779 kg, este valor fue significativamente más alto ($F=17.9$, $g.l= 1$, $P=0.001$), con respecto a los peces del sistema convencional que generaron una biomasa inferior de 34.601 kg (cuadro 4).

Cuadro 4.- Biomasa obtenida en ambos tratamientos al inicio y final del experimento

Tipo de sistema	Etap	Peso promedio (g)	Biomasa (kg) peces
Acuapónico	Inicial	7.17	1. 456
	Final	100.2	39.779
Convencional	Inicial	7.7	1. 540
	Final	87.82	34.601

6.3.2 Vegetales

La biomasa de vegetales obtenida en el sistema acuapónico se resume en el cuadro 5, logrando producir 1.384 kg de tomate, 0.443 g de chile y dos acelgas con un peso de 80 g cada una.

Cuadro 5.- Biomasa obtenida de vegetales al final del experimento

Vegetal	Peso promedio (g)	Biomasa (kg)
Tomate	15	1.384
Chile	3	0.443
Acelga	80	0.160

VII.- DISCUSIÓN

7.1 Parámetros biológicos

El crecimiento de las tilapias en acuicultura se relaciona con varios factores como la densidad de peces sembrados, los parámetros fisicoquímicos del agua y la cantidad de alimento suministrado (Saavedra, 2006). Los especímenes del cultivo acuapónico reportan una ganancia en peso promedio de 100.2 g en cuatro meses, se consideran adecuados al compararlos con los resultados obtenidos por Rubio (2012) cuyos peces en un periodo de 10 meses aumentaron un peso promedio de 102.81 g, mientras que Kanchi (2013) reportó una ganancia en peso de 165 g en seis meses de cultivo. Aunque los pesos reportados aparentemente son superiores, este trabajo redujo considerablemente el tiempo de cultivo.

La tasa de sobrevivencia también depende de muchos factores y están ligados principalmente a los parámetros fisicoquímicos del agua, para este trabajo dichos parámetros se encontraron dentro de las condiciones adecuadas para el desarrollo de los peces, por lo que la tasa de sobrevivencia obtenida en el sistema acuapónico fue de 99.5%. Esta es similar a la tasa reportada por Flores-Ochoa y Madrid-Junior (2013) quienes obtuvieron 99.6% de sobrevivencia al implementar un sistema acuapónico y es superior a la tasa reportada por Rubio (2012) quien calcula un 53.33% de sobrevivencia en su estudio.

García (2014) menciona que un valor mayor a dos en el factor de conversión alimenticia indica una baja eficiencia de los peces para convertir el alimento en biomasa, lo ideal es que sea igual a uno. Tomando en cuenta lo anterior, en este

estudio se estimó un valor máximo de 1.41, quedando dentro del nivel señalado, similar al valor de 1.41 que reportan Rakocy y colaboradores (2000).

En contraste a lo anterior, otros autores reportan valores de 2.8 y 3 (Flores Ochoa y Madrid Junior, 2013; y Moreno y Zafra, 2014, respectivamente). Estos últimos resultados serían desfavorables debido a la densidad de peces sembrada y la cantidad de alimento suministrado, repercutiendo en el crecimiento y sobrevivencia de los organismos como lo indica Saavedra (2006) que adjudica que los índices superiores a lo establecido en el factor de conversión alimenticia se relaciona con la falta de alimento, la temperatura del agua y la densidad de siembra de peces en los estanques.

7.2 Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos del agua influyen en el desarrollo de los peces y plantas. El pH es un parámetro esencial en los cultivos acuapónicos, en el presente estudio se obtuvieron rangos de 7.2 a 8 parecidos a los números reportados por Moreno y Zafra (2014) quienes tuvieron 7.4-7.8, mientras que Cáceres (2013) registró valores inferiores de 6.1-6.3. Nelson (2007) menciona que un pH de 7 garantiza el buen funcionamiento del sistema para promover la nitrificación, pero se ha demostrado que la nitrificación puede ocurrir en niveles de pH de 6 a 9, siempre y cuando se mantenga la temperatura adecuada para el desarrollo de las bacterias nitrificantes de 30 °C reportada por Wheaton y colaboradores (1994).

Con respecto a la temperatura presentada en este estudio se encontró dentro de las condiciones óptimas para la nitrificación porque en la mayoría de los registros los valores se mantuvieron en la temperatura señalada. Saavedra (2006) ha mencionado que la temperatura adecuada para el desarrollo de la tilapia en estanques radica entre 25 y 32 °C, encontrándose el sistema acuapónico de este proyecto en las condiciones indispensables para el desarrollo de vegetales y peces.

En cuanto al oxígeno disuelto (OD), Caló (2011) establece que los niveles de OD deben ser superiores a 3 mg/L para que el sistema tenga un buen funcionamiento, pero la concentración idónea debe ser mayor o igual a 5 mg/L, respecto a esto los niveles en la concentración de OD cumple con lo establecido ya que el nivel fue superior al mínimo establecido (4.3 a 5.7 mg/L), así mismo, no se presentaron problemas fisiológicos atribuidos a la falta de este parámetro como la alta mortalidad o que los peces dejen de alimentarse o crecer (Lozano *et al*, 2001).

Por otro lado, el amoníaco se produce a través de la excreción y orina de los peces y descomposición del alimento no consumido (Lozano *et al*, 2001), este compuesto es tóxico y el nivel debe fluctuar en 0.0125 mg/L (Timmons *et al*, 2002), las concentraciones de amoníaco (mg/L) en este estudio fueron altas, el tratamiento con el sistema acuapónico obtuvo 3 mg/L y el sistema convencional 2.4 mg/L, de esta manera, los valores encontrados en ambos tratamientos nos indican una amplia tolerancia de los organismos acuáticos a este compuesto

nitrogenado, al comparar estos resultados con los obtenidos por Rubio (2012) fueron mejores ya que reporta una alta concentración de 24.62 mg/L.

Los nitritos conforman un producto intermedio durante el proceso de nitrificación y al igual que el amoníaco es tóxico en altas concentraciones, por lo que valores superiores a 5 mg/L provocarían estrés en el organismo (Masser, 1999), de acuerdo a este criterio los niveles mantenidos en el sistema acuapónico fueron indicadores del buen desarrollo del proceso al presentar valores de 3.6 mg/L, superiores a los reportados por Rubio (2012) al obtener 0.69 mg/L, mientras que Ramírez *et al* (2009), registró una concentración máxima de 1.6 mg/L.

Los nitratos son el producto final del proceso de nitrificación, es la forma menos toxica para los organismos experimentales. Masser (1999) menciona que los niveles superiores a 300 ppm comienzan a ser tóxicos para los peces, de esta manera los niveles presentados en los tratamientos evaluados son considerados admisibles al presentar un valor de 100 ppm durante los últimos días del experimento, debido a que conforme pasaban los días la cantidad de materia orgánica en el estanque iba aumentando, por lo que se puede afirmar que durante el proceso bioquímico las bacterias trabajaron de una forma correcta.

7.3.- Biomasa

La biomasa final de las tilapias del sistema acuapónico (39.779 kg) fue mayor al sistema convencional (34.601 kg) y los kilogramos producidos por metro cubico fueron de 4.97 kg y 4.32 kg respectivamente para cada sistema. Aunque son menores a los producidos por Rubio (2012) quien obtuvo 8.48 kg/m³, se debe considerar que su tiempo de cultivo (300 días) fue más del doble del ocupado en este experimento (120 días). Entonces, se infiere que si el proyecto se hubiera considerado por un tiempo más, los resultados habrían sido mejores a los reportados por este autor.

Con respecto a la biomasa producida por los vegetales cabe resaltar que se instalaron dos tipos de sistemas (NFT y cama con sustratos), de esta forma, las plantas de tomate y chile trasplantadas al sistema NFT no se desarrollaron correctamente debido a que los vegetales que dan frutos requieren de una mayor demanda nutricional como lo menciona Masser (2002), sin embargo, se logró cosechar dos acelgas las cuales demandan un nivel bajo a medio de requerimientos nutricionales.

El sistema de cama con sustratos arrojó buenos resultados, las plantas se desarrollaron adecuadamente y se logró cosechar 1.384 kg de tomate y 443 g de chile. De acuerdo con Diver (1996), las plantas que producen frutos necesitan de sistemas más complejos, en este caso, los sustratos ayudaron a darle sostén a las plantas y a estabilizar los niveles de pH y así evitar el deterioro de los vegetales

trasplantados; haciendo validar la eficiencia de este tipo de sistema al producir proteína animal y vegetales.

En resumen, este tipo de sistemas acuapónicos son un medio eficaz para aprovechar los residuos generados por la actividad acuícola y a la vez reducir la cantidad de agua que ocupa un sistema convencional. Además, son productos completamente orgánicos, libres de pesticidas, contribuyendo a ser una actividad encaminada hacia la sustentabilidad.

VIII.- CONCLUSIONES

El tratamiento representado por el sistema acuapónico arrojó los mejores resultados en comparación con el tratamiento del sistema convencional al obtener diferencias significativas con respecto al peso ganado y talla.

La tasa de sobrevivencia en el sistema acuapónico fue similar en ambos tratamientos, al igual que el factor de conversión alimenticia.

Los parámetros fisicoquímicos registrados en ambos tratamientos estuvieron en las condiciones óptimas para el crecimiento de las tilapias, así mismo dichos factores influyeron en el desarrollo de los vegetales trasplantados en los dos tipos de sistemas acuapónicos. El sistema con cama con sustratos aportó los mejores resultados al cosechar tomate y chile, mientras que en el sistema NFT los vegetales trasplantados no obtuvieron un buen desarrollo y solo se logró cosechar dos acelgas.

En relación a la biomasa obtenida por los peces, fue más eficiente en el sistema acuapónico. La implementación de sistemas acuapónicos sobretodo con el tipo de cama de sustratos es una alternativa viable para la producción de proteína animal y vegetal.

Considerando los costos, la implementación de este tipo de sistemas es económicamente viable. La inversión total en el experimento fue de \$2, 889.00 pesos MN (sin contar los estanques). El sistema acuapónico en cama de sustratos

fue el de mayor productividad lo que lo hace más viable al invertir \$340.00 pesos MN, mientras que el de tipo NFT tuvo un costo de \$560.00. Inversión que se recupera a largo plazo.

La implementación de sistemas acuapónicos es eficiente al reducir las cantidades de agua que se utilizan en un sistema convencional.

IX.- APLICACIÓN PRÁCTICA

Los parámetros evaluados y los resultados obtenidos muestran un satisfactorio trabajo en donde la granja utilizada para montar el bioensayo se vio favorecida con aspiraciones a extender la práctica, ante esto, la realización de la presente tesis sirve como una propuesta para ser aplicada a pequeña escala considerándose un sistema acuapónico de traspatio, esto con el objetivo de hacer una granja con un manejo sostenible.

De esta forma, se obtendrán varios beneficios como la producción de alimentos en espacios reducidos, doble fuente de ingreso económico, obtención de alimentos totalmente orgánicos, uso eficiente del agua, sin dejar de lado que esta actividad es una buena alternativa para la generación de autoempleo resultando beneficiadas aquellas personas que deseen trabajar de forma organizada y comprometida, ya que este tipo de proyectos requieren de un gran esfuerzo y mano de obra al inicio y durante el desarrollo, obteniendo resultados favorables a mediano y largo plazo.

De igual forma, este proyecto puede ser ocupado como modelo de una granja de autoconsumo, ideal para ser aplicado en zonas de alta marginación y pobreza para combatir el hambre, integrando a la familia completa en los procesos de la actividad, de esta manera, para llevar a cabo la ejecución del proyecto es necesario contar con una fuente de suministro de agua, un sistema de producción con un sistema de recirculación, peces y semillas de vegetales, tubos de PVC o camas con sustratos, cabe mencionar que la instalación de un sistema acuapónico puede llegar a ser tan sencillo o tecnificado de acuerdo con la escala y la economía a invertir, así mismo para reducir los costos se recomienda utilizar materiales de reciclaje.

Por otro lado, considerando la expansión, la idea de implementar sistemas acuapónicos a gran escala, resulta interesante debido a que su visión es únicamente comercial y los costos de inversión son más elevados, por lo tanto se reduciría la inversión en sistemas de aireación y se produciría la doble producción de peces y vegetales, impactando positivamente en los ingresos económicos.

Además, otras de las aplicaciones que se dan con este trabajo es que dentro de los estudios de impacto ambiental en proyectos acuícolas se tome la implementación de un sistema acuapónico como una medida de mitigación para reducir de una forma eficaz los impactos ambientales negativos al utilizar los efluentes generados por la acuicultura, conjuntamente a esto se podría obtener un sello de calidad ambiental de acuerdo con su desempeño adquiriendo grandes beneficios.

Por las condiciones climáticas que predominan en la zona norte del estado de Veracruz este proyecto puede replicarse en cualquier otra área con las características parecidas, siendo adaptado a la tipología del lugar, así mismo, es necesario tomar en cuenta el abasto de los materiales antes mencionados esencialmente con el suministro de agua.

X.- BIBLIOGRAFÍA

- Adler, P. R., Harper, J. K., Wade, E. M., Takeda, F. y Summerfelt, S. T. 2000. Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*. **1(1)**: 15-34.
- Arboleda, O. y Duvan, A. 2005. Reversión sexual de las tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Una guía básica para el acuicultor. *Revista electrónica de veterinaria REDVET*. **6(12)**: 1695-7504.
- Barahona, T. J. 2012. Evaluación de dos promotores de crecimiento en la alimentación de tilapia en la etapa de engorde en el complejo turístico (La Chorrera) barrio Huapante las playas del cantón Pillaro provincia de Tungurahua. Tesis de Licenciatura. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda, Ecuador.
- Bocek, A. 2007. Subsecretaría de Actividades Pesqueras y Desarrollo del Delta, Ministerio de Asuntos Agrarios. (Actualizado al 27 de Octubre 2011). Página electrónica (<http://www.produccion-animal.com.ar>).
- Boutwell, J. 2007. Aztecs Aquaponics revamped. Napa valley register. (Actualizado al 10 de Diciembre 2015). Página electrónica (<http://www.growfish.com.au/content.asp?contentId=10617>).

- Brander, K. M. 2007. Global fish production and climate change. Proceedings of the national academy of sciences. **104(50)**: 19709–19714.
- Cáceres, D. 2013. Efecto del agua residual del cultivo de *Oreochromis niloticus* “tilapia” sobre el crecimiento de *Lactuca sativa* “lechuga” en un sistema acuapónico continuo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo-Perú.
- Caló, P. 2011. Introducción a la acuaponía. Centro Nacional de Desarrollo acuícola (CENADAC). Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Argentina. 15 pp.
- CNA. Comisión Nacional de Agua. 2008. Plan Nacional Hídrico 2007-2012. Coyoacán Mexico, D. F. 15 pp.
- Cruz, L. E., Ricque, D. y Martínez, J. A. 1993. Evaluación de dos subproductos de camarón en forma de harina como fuente de proteína en dietas balanceadas para *Penaeus vannamei*. 205-232 pp. En memorias del primer simposium internacional de nutrición y tecnología de alimentos para acuicultura, Monterrey, Nuevo León, México. 491pp.
- Diver, S. 1996. Integration of hydroponics with aquaculture. Appropriate technology transfer for rural areas and national center for appropriate technology. **163(1)**: 1-20.
- Diver, S. 2006. Aquaponics: Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service. (ATTRA) North Carolina: **46(2)**1-28.

- Durham, D. 1992. Low-tech polycultural yields, high profit. Small farm today. Carolina del Norte. 25 pp.
- Moreno, E. W. y Zafra, T. A. 2014. Sistema acuapónico del crecimiento de lechuga *Lactuca sativa*, con efluentes de cultivo de tilapia. Rebiol. **34(2)**: 60-72.
- García, E. 2014. Tecnologías alternativas de alimentación para cachama, tilapia, bagres y langostinos. Acuacría. Primer encuentro nacional de producción de alimentos balanceados y otras alternativas de consumo animal. Valencia, España. 12 pp.
- García, M. 2014. Acuacultura rural en la costa sur de Jalisco: Caso de estudio avances en investigación agropecuaria. Universidad de Colima México. **14(2)**: 29-48.
- García, M., León, C., Hernández, F. y Chávez, R. 2005. Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. Avances en investigación agropecuaria. Universidad de Colima, Colima México. **9(1)**: 1-15p.
- Iturbide, D. K. 2008. Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Tesis de Maestría. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Jones, V. 2002. Identity and Environment. The Curriculum Journal. **13(3)**: 279-288.

- Kanchi, D. D. 2013. Implementación de un sistema acuapónico urbano bajo invernadero en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México.
- Lennard, W. A. y Leonard, B. V. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*. **14(1)**: 539-550.
- Lewis, W. M., Yopp, J. H., Schramm, H. L. y Brandenburg, A. 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of the American Fisheries Society*. **107(1)**: 92-99.
- Lozano, D., López F., 2001. Manual de Piscicultura de la región amazónica ecuatoriana. Ed. Imprenta Mosaico, Quito- Ecuador. 120 p.
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2013. Programa de especies acuáticas *Oreochromis niloticus*. 17pp
- FAO. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016. Capacitación en acuicultura. Departamento de pesca. 10 pp.
- Flores, O. L. y Madrid J. R. 2013. Comparación de la producción de lechuga de los cultivares Maximus, Locarno, Versai y Kristine en acuaponía con tilapia en

Zamorano. Tesis de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Masser, M., Rakocy, J. E y Losordo, T. M. 1999. Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems. Southern regional aquaculture centre publication. N° 452. Southern Regional Aquaculture Centre. USA

Masser, M. 2002. Hydroponics integration with aquaculture. Ed. Alabama. Estados Unidos. 23 pp.

McLarney, W. 1972. Irrigation of garden vegetables with fertile fish pond water. New alchemy agricultural report. Estados Unidos **2(1)**. 25-24

McMurtry, M. R., Sanders, D. C., Cure, J. D., Hodson, R. G., Haning, B. C. y St. Amand, P. C. 1997. Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. Journal of the World Aquaculture Society. **28 (1)**: 420-428.

Nelson, R. 2007. Acuaponia. Pade Multimedia. Montillo. Estados Unidos. 15 pp.

Ontiveros, L. M. 2013. Sistema de producción acuapónico de traspatio. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Queretaro. Queretaro, Qro. México.

Parker, R. 2002. Aquaculture science. Delmar. Ed. Albany, NY. USA. 40 pp.

Pillay, T. V. y Kutty M. N. 2005. Aquaculture: Principles and practices. Ed. Blackwell Publishing Ltd. U.K. 3 pp.

Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. 2014. Plan Municipal de Desarrollo. Àlamo, Temapache, Veracruz, México. 67 pp.

Rakocy, J., Nair, A. 1987. Integrating fish culture and vegetable hydroponics: problems and prospects. Agriculture. **2(1)**: 19-23.

Rakocy, J. 1989. Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. Agricultural experiment station. **3(1)**: 4-10.

Rakocy, J., Shultz R., Bailey D. y Thoman E. 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. Acta horticulturae. USA. 648 pp.

Rakocy, J., Bailey D., Martin J. y Shultz, R. 2000. Tilapia production systems for the lesser antilles and other resource-limited tropical area. Ed. Tilapia Aquaculture. University of the Virgin Islands, agricultural experiment Station. 18 pp.

- Rakocy, J. 2005. Questions and Answers. *Aquaponics Journal*. **37(2)**: 8-10.
- Ramírez, D., Sabogal, D., Gómez, E., Rodríguez D. y Hurtado, H. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. Universidad Militar de Nueva Granada. **5(1)**:154-170.
- Regalado, A. J. 2013. Diseño y evaluación de un sistema acuapónico para la producción de animales acuáticos y plantas para consumo humano. Tesis de Maestría. Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México.
- Rodríguez, R. G. 2002. Forraje Verde Hidropónico. Tesis. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- Rubio, C. S. 2012. Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acropolis *Lactuca sativa* en acuapónia. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional. Guasave Sinaloa, México.
- Saavedra, M. M. 2006. Manejo del cultivo de tilapia. Ed. CIDEA. Managua Nicaragua. 22 pp.
- Sanders, D. y McMurtry M. 1988. Fish increase greenhouse profits. *American Vegetable Grower*. **1(1)**. 32–33.
- Segovia, Q. M. 2008. Cultivo de frutas y hortalizas mediante acuapónia. 2000 Agro. *Revista Industrial del Campo*. **4 (3)**. 27-30.

StatSoft, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7.
www.statsoft.com.

Timmons, M. B., Ebeling J. M., Wheaton F. W., Summerfelt S. T. y Vinci B. J.
2002. Recirculating Aquaculture Systems. Northeastern Regional
Aquaculture Center, NRAC Ithaca. New York USA. 769 pp.

Van G. y Sanders D. 2000. Small scale aquaculture. The alternative aquaculture
association. Breinigsville, USA. 102 pp.

Wheaton, F W., Honchheimer, J. N., Kaiser, G. E., Krones M. J., Libey, G. S. y
Easter, C. C. 1994. Nitrification filter desing methods. Acuaculture water
reusse systems: Engineering desing and management. Ed. Acuaculture and
fisheries science. Amsterdam. 171 pp.

Anexos



Materiales para la construcción del sistema acuapónico NFT



Proceso del crecimiento de los vegetales sembrados en el sistema NFT



Fases del desarrollo del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el sistema de cama con sustratos



Proceso del desarrollo de chile (*Capsicum annum*) en el sistema de cama con sustratos



Biometrías realizadas a las tilapias (*O. niloticus*) del sistema acuapónico al inicio y final del experimento



Biometrías realizadas a las tilapias (*O. niloticus*) del sistema convencional al inicio y final del experimento.

Cuadro 6.- Lista general de precios de los materiales utilizados para la instalación del sistema acuapónico

Concepto	Precio unitario	Cantidad	Importe
Tubos PVC 3"	\$140.00	3	\$420.00
Codos PVC 3"	\$10.00	8	\$80.00
Cabeza de poder Aqua Jet con filtro	\$240.00	3	\$720.00
Manguera plástica	\$12.00	5	\$60.00
Semillas	\$18.00	3	\$54.00
Peces	\$1.50	1000	\$1500.00
Aragonita	\$55.00	1	\$50.00
Total			\$ 2, 889.00