



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

MONOGRAFÍA

LA ACUAPONÍA COMO ALTERNATIVA DEL USO DE AGUAS DE DESCARGAS DEL SECTOR ACUÍCOLA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN BIOLOGÍA MARINA Y MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS

PRESENTA

KARLA BELEM GRAJALES GUTIERREZ

Tonalá, Chiapas

Noviembre del 2014



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
Y ARTES DE CHIAPAS**

INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

MONOGRAFÍA

**LA ACUAPONÍA COMO
ALTERNATIVA DEL USO DE
AGUAS DE DESCARGAS DEL
SECTOR ACUÍCOLA**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA
MARINA Y MANEJO INTEGRAL DE
CUENCAS**

**PRESENTA
KARLA BELEM GRAJALES
GUTIERREZ**

**DIRECTOR
M.C. FRANCISCO JAVIER TOLEDO
SOLÍS**

Tonalá, Chiapas

Noviembre del 2014

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada quiero agradecer a **DIOS** por todas y cada una de sus bendiciones y por haberme dado la fuerza necesaria para culminar esta etapa de mi vida.

A mi director de monografía el **M.C. Francisco Javier Toledo Solís** por cada una de sus valiosas aportaciones que hicieron posible este trabajo y por la gran calidad humana que me ha demostrado con su amistad.

A la **M.C. Selene Lucero Aguilar Gordillo** por la colaboración brindada durante la elaboración de este trabajo, por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría y demostrarme que siempre podré contar con su apoyo.

A la **M.C. Natalia Perales García** por su orientación, apoyo en este trabajo, por sus recomendaciones y conocimientos transmitidos.

A mis amigos **José Miguel Sánchez de la Cruz, Roosen Ely Mendoza Velázquez y Abisait Sandoval Villalobos** por la amistad tan sincera que durante todos estos años de la carrera han sabido brindarme y que entre risas, bromas y enojos hemos culminado esta etapa tan importante de nuestras vidas.

A **Jesús Alonso Espinosa Aceituno** quien con su ayuda, cariño y comprensión ha sido parte fundamental de mi vida.

DEDICATORIA

A Dios

Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por darme la fortaleza para continuar cuando he estado a punto de caer, por ello, con toda la humildad de mi corazón, dedico mi trabajo primeramente a **Dios**.

A mis padres

De igual forma dedico este trabajo a mi padre **Manuel de Jesús Grajales Pérez** por su inquebrantable voluntad de estar a mi lado, por su apoyo incondicional y por creer en mí. A mi madre **Guadalupe Gutiérrez Chávez** que con su demostración de una madre ejemplar, me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mis hermanos

También dedico este trabajo a mis hermanos **Brenda Janeth Grajales Gutiérrez, Derli Yasmin Grajales Gutiérrez, Ana Karen Grajales Gutiérrez, Juan Alejandro Grajales Gutiérrez** y a mi sobrina que tanto quiero **Yaretzi Guadalupe Aguilar Grajales**, por ser los seres más importantes en mi vida, por su amor incondicional que durante estos años de carrera han sabido demostrarme para continuar y nunca renunciar sin importar cuan dura sea la meta.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos particulares	3
III. PRESENTACIÓN SISTEMATIZADA DE LA INFORMACIÓN	4
3.1 Concepto de acuaponía	4
3.2 Elementos de un sistema acuapónico.....	6
3.2.1 Tanques para el cultivo de peces	6
3.2.2 Bombas de aireación	6
3.2.3 Bomba de agua.....	7
3.2.4 Biofiltro	7
3.2.5 Clarificador.....	7
3.2.6 Sumidero.....	8
3.2.7 Sistemas de cultivos hidropónicos.....	8
3.2.7.1 Sistema de camas con sustrato solido.....	8
3.2.7.2 Sistema de raíz flotante.....	9
3.2.7.3 Sistema de solución nutritiva recirculante	9
3.3 Procedimiento de manejo u operación de un sistema acuapónico	11
3.3.1 Peces utilizados en acuaponía.....	12
3.3.2 Plantas utilizadas en acuaponía.....	12
3.3.3 Mantenimiento del sistema acuapónico.....	13
3.3.3.1 Parámetros que se deben de tomar en cuenta	14
3.3.3.2 PH	14
3.3.3.3 Oxígeno disuelto.....	14
3.3.3.4 Nitritos y nitratos	15
3.3.3.5 Amonio	15
3.4 Estudios realizados con sistemas acuaponicos	16
3.5 Beneficios de la acuaponía	18
3.6 Desventajas de la acuaponía	19

IV. CONCLUSIÓN	20
V. RECOMENDACIONES	21
VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Camas hidropónicas con sustrato solido en un sistema de cultivo acuapónico.....	8
Figura 2. Sistema de raíz flotante en un sistema de cultivo acuapónico.....	9
Figura 3. Sistema de cultivo en solución nutritiva recirculante.....	10
Figura 4. Sistema de recirculación acuapónico.....	11

I. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una de las actividades económicas productoras de alimento de origen animal de mayor importancia a nivel mundial, esto se debe principalmente a la constante disminución en las capturas de las especies pesqueras tradicionales. Por lo cual, se espera que en un futuro cercano, la acuicultura supere a la pesca de captura como fuente de pescado comestible, debido a que es un sector que está en rápido crecimiento más que cualquier otro en el ámbito de la producción de alimento (FAO, 2010).

Sin embargo, el crecimiento de elevado de la acuicultura moderna ha traído como consecuencias una gran cantidad de impactos en el medio ambiente. Los principales problemas ambientales derivan de la descarga de desechos con un alto contenido de materia orgánica, nutrientes inorgánicos y sólidos suspendidos, que son los responsables de la eutrofización y nitrificación de los cuerpos de agua, así como la erosión de suelos, entre otros impactos ambientales (Piedrahita, 2003; Pardo *et al.*, 2006; Amirkolaie, 2008).

Actualmente se desarrollan varias estrategias con la finalidad de disminuir algunos de los impactos negativos relacionados con la acuicultura y una de las alternativas más viables es la acuaponía (Nelson, 2008). La acuaponía es la técnica o actividad que combina la acuicultura con el cultivo de plantas y animales acuáticos y la hidroponía se enfoca al cultivo de plantas en soluciones nutritivas con o sin sustrato (Rakocy, 1999), por el cual las plantas reciben la mayoría de los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo directamente del agua del cultivo de los peces; y con esto se consiguen compuestos más aprovechables para las plantas y menos tóxicos para los peces debido a que las plantas actúan como un filtro natural (Hurtado, 2008).

Los sistemas acuaponicos surgen de los avances tecnológicos así como de la necesidad de mejorar los sistemas de producción acuícola y de la búsqueda de reducir los impactos contaminantes por las descargas de aguas residuales provocadas por la acuicultura (Adler *et al.*, 2000). Hoy en día la acuaponía está dando buenos resultados ya que no solo representa una fuente completa de alimentos de alta calidad sino también contribuye a otros beneficios importantes, como la reducción en el consumo de agua, ya que el agua rica en nutrientes que se desecha de los estanques de cultivo es aprovechada por las plantas y recirculada a los estanques, mejorando de forma económica y rentable de la acuicultura. Y por otro lado, la obtención de dos fuentes de ingresos diferentes (peces y plantas) ya que pueden compartir la misma infraestructura, lo cual representa un ahorro en el proceso de producción, con importantes aportes socioeconómicos (Rakocy *et al.*, 2006; Grab & Junge, 2009).

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como finalidad recabar la mayor información disponible del empleo de la acuaponía; así como la descripción de esta técnica como alternativa para disminuir los desechos de las descargas acuícolas y con esto reducir la contaminación provocada por este sector.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Describir la implementación de la acuaponía como una alternativa viable en el uso de las descargas de aguas del sector acuícola.

2.2 Objetivos particulares

Describir los elementos que integran a los sistemas acuaponicos.

Describir los beneficios que genera la acuaponía en el uso de las aguas de descargas del sector acuícola.

Describir las desventajas de la acuaponía en el uso de las aguas de descargas del sector acuícola.

III. PRESENTACIÓN SISTEMATIZADA DE LA INFORMACIÓN

3.1 Concepto de acuaponía

La acuaponía se define como la combinación de un sistema de acuicultura con un sistema hidropónico (Rakocy, 2007). Definiendo acuicultura como las diferentes estrategias por las cuales se realizan cultivos de organismos acuáticos en ambientes controlados, e hidroponía como una forma de cultivo de plantas en donde sus raíces tienen contacto directo y permanente con soluciones que contienen nutrientes que permiten su crecimiento y desarrollo (Hurtado *et al.*, 2008).

Los primeros avances que se obtuvieron en este campo comenzaron en los años setenta con investigaciones que buscaban desarrollar sistemas de cultivos de peces a pequeña escala (Rakocy & Hargreaves, 1993). Hasta la década de los ochenta, la mayoría de los intentos para combinar la hidroponía y la acuicultura tuvieron éxitos limitados, pero no fue hasta 1996 gracias a las innovaciones tecnológicas propuestas por McMurtry *et al.* (1993), fue creado el primer sistema acuapónico llamado “sistema acua-vegetativo” que utilizó las descargas de un cultivo de tilapia dentro de un cultivo de tomate.

De acuerdo con lo que explican Rakocy *et al.*, (2004), en los cultivos de organismos acuáticos que generalmente son peces, el agua que se encuentra dentro de los estanques de cultivo y que mantiene a estos organismos, es rica en nutrientes naturales para los cultivos hidropónicos. Estos nutrientes se producen por la descomposición del alimento no aprovechado por los peces, la excreción de las heces, las microalgas que se forman de manera natural, y que en grandes cantidades todos estos elementos son altamente tóxicos para los mismos peces que se encuentran en cultivo; pero puede ser una fuente de fertilizante líquido para el cultivo de las plantas; por lo tanto, el agua que es desechada del sistema

acuícola está cargada con nutrientes que puede ser aprovechados para la producción hidropónica de diversas plantas (Lewis, 1978).

Las raíces de las plantas y las bacterias remueven estos nutrientes del agua transformándolos en un fertilizante natural líquido para el crecimiento de las mismas, a la vez que estas actúan como un filtro limpiando el agua que se podría enviar nuevamente al estanque donde se encuentran los peces. En este sentido, la acuaponía hace un uso eficiente de lo que de otro modo serían considerados residuos orgánicos; además de reutilizar el agua de descarga o efluente del cultivo acuícola. De esta forma, los aspectos negativos potenciales de la acuicultura se reducen considerablemente con la acuaponía (Nelson, 2008).

En base a lo anterior y de acuerdo con Iturbide (2008), la acuaponía tiene varios principios los cuales son:

- Los efluentes que son desechados de los estanques de cultivo sirven como nutrientes para el cultivo de plantas.
- La combinación del cultivo de peces y plantas incrementa la producción de ambos cultivos.
- Existe una menor contaminación al ambiente ya que el agua desechada de los estanques de cultivo es reutilizada a través de la filtración biológica de las plantas.
- Los sistemas acuaponicos producen alimentos más saludables y esto podría incrementar la rentabilidad en los cultivos.

3.2 Elementos de un sistema acuapónico

Los sistemas acuapónicos pueden variar debido a muchos factores como ambientales, necesidades del productor, especies a cultivar, escala de producción, etc. Sin embargo, existen algunos componentes que son principales en un sistema acuapónico según lo descrito por Racocy *et al.*, (2006), Nelson (2008) y Mateus (2009), los cuales se describen a continuación:

3.2.1 Tanques para el cultivo de peces

El tanque para cultivar los peces es uno de los componentes indispensables en un sistema acuapónico. En este componente se desarrollara el cultivo de los organismos que se han escogido, por lo que se recomienda que sea de un material resistente y que sus dimensiones sean proporcionales al número y al tamaño de los organismos. Así también, debe tomarse en cuenta que el área del tanque es más importante que su altura ya que los peces se desplazan más en forma horizontal que de forma vertical. Es importante mencionar, que el tanque de producción debe ser lo suficientemente grande para asegurar el llenado del sistema hidropónico y al mismo tiempo garantizar un adecuado volumen de agua para que los peces puedan nadar libremente (Nelson, 2008).

3.2.2 Bombas de aireación

Este elemento es muy importante ya que casi todos los organismos en cultivo necesitan la presencia del oxígeno disuelto en el agua para su sobrevivencia y desarrollo. La concentración de oxígeno disuelto en el agua varía según la especie cultivada y es importante que la bomba de aireación esté funcionando las 24 horas del día sin interrupciones (Mateus, 2009).

3.2.3 Bomba de agua

La bomba de agua es el motor del sistema acuapónico, ya que la bomba dirige el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y después la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación. Esta circulación de agua generada por la bomba, garantiza que las plantas reciban los nutrientes para su crecimiento. Además de filtrar y mejorar la calidad del agua que los peces recibirían una vez que el agua complete su recorrido al regresar al tanque (Racocy *et al.*, 2006).

3.2.4 Biofiltro

El biofiltro es un contenedor el cual contiene materiales porosos como grava esponjas o bio-esferas. Estos son elementos diseñados para ofrecer una superficie a las bacterias y actuar como un filtro mecánico al recoger las partículas que se encuentran suspendidas en el agua. La biofiltración cumple con dos objetivos en el sistema acuapónico. El primero es transformar el amoníaco excretado por los peces como desecho metabólico, en un compuesto menos tóxico para ellos y el segundo, la obtención de un compuesto asimilable para las plantas. Dichos procesos, son realizados por un grupo de bacterias que se alojan en los filtros biológicos obteniendo como resultado final nitratos (NO₃) y constituye la forma de nitrógeno asimilable por las plantas (Timmons *et al.*, 2002).

3.2.5 Clarificador

El clarificador es un depósito que se encuentra antes del biofiltro y este se encarga de atrapar las partículas de mayor tamaño de los desechos de los peces como son el alimento no consumido, las algas que se producen en los estanques y las heces de los peces. Gracias a este depósito el agua que pasa al biofiltro va libre de materia orgánica y con esto se evita que posteriormente esta materia se estanque en las raíces de las plantas o en las tuberías de los sistemas hidropónicos (Racocy *et al.*, 2006).

3.2.6 Sumidero

Este no es más que un depósito en el cual el agua que retorna de los sistemas hidropónicos se almacena, y una vez lleno se bombea nuevamente hacia los estanques de cultivo (Nelson, 2008).

3.2.7 Sistemas de cultivos hidropónicos

Los principales sistemas de cultivos hidropónicos utilizados en acuaponía de acuerdo con Rivara (2000) y Lennard & Leonard (2006) son de tres tipos; sistema de camas con sustrato sólido, sistema de raíz flotante y sistema de recirculación nutritiva, cada uno de estos se describen a continuación:

3.2.7.1 Sistema de camas con sustrato solido

En este sistema se utiliza un medio solido (sustrato) para el soporte de las raíces de las plantas. El sustrato tiene varias funciones; sirve de anclaje a las plantas, protege a las raíces de la luz solar, retiene cierta cantidad de humedad y solución nutritiva y permite la oxigenación de las raíces por medio de los espacios que se forman entre las partículas (Guzmán, 2005). Además en los sistemas acuaponicos, el sustrato es suficientemente poroso lo que permite el desarrollo de las bacterias nitrificadoras, evitando muchas veces la necesidad de construir un biofiltro reduciendo así los costos de producción (figura 1).



Figura 1. Camas hidropónicas con sustrato solido en un sistema de cultivo acuapónico (Hernández *et al.*, 2010).

3.2.7.2 Sistema de raíz flotante

Este sistema no requiere de un sustrato sólido, las raíces de las plantas permanecen en contacto con el agua que debe ser oxigenada diariamente. La oxigenación puede ser aplicada manualmente a través de bombas aireadoras. En este sistema las plantas pueden estar insertadas en una lámina de unicel la cual cubre la totalidad de la superficie de la cama (Adler *et al.*, 1996). A dicha lámina se le hacen unos orificios para colocar las plantas que a la vez son sostenidas quedando las raíces flotando en el agua rica en nutrientes. Este sistema es utilizado en acuaponía a mediana y gran escala, y si bien no necesita de sustrato sólido es necesario añadirle un biofiltro. Además, en este sistema es necesario una entrada y una salida de agua, para que esta pueda recircular y ser devuelta otra vez a los estanques (figura 2).



Figura 2. Sistema de raíz flotante en un sistema de cultivo acuapónico (Nelson, 2006).

3.2.7.3 Sistema de solución nutritiva recirculante

Este es el sistema de cultivo hidropónico más utilizado a nivel comercial. En la producción a gran escala es de alta eficiencia, pero al mismo tiempo es el más complejo y costoso. Para el correcto funcionamiento de este sistema se necesita de un tanque para almacenar la solución nutritiva de un sistema automatizado de bombeo y de un sistema de tubos interconectados; a los cuales se les han

realizado orificios para asentar las canastitas que contendrán las plantas (Al-Hafedh *et al.*, 2008). El agua de desecho de los estanques circulara a través de los tubos nutriendo así la raíz de las plantas, para después ser enviada nuevamente hacia los estanques (figura 3).



Figura 3. Sistema de cultivo en solución nutritiva recirculante (Harmon, 2003).

3.3 Procedimiento de manejo u operación de un sistema acuapónico

Algunos autores como Ramírez *et al.*, (2009), describen que todos estos elementos se conectan de tal forma que el agua rica en nutrientes que se encuentra en el tanque de los peces en cultivo pase al clarificador donde se eliminan la mayor parte de las partículas disueltas tanto grandes como pequeñas. Después de que el agua pasa por el clarificador, el flujo se dirige hacia el biofiltro el cual tiene una superficie considerable para mantener una gran cantidad de bacterias como las *nitrobacter sp.*, y *nitrosomas sp.*, que convierten el amonio (NH_4) en nitrito (NO_2) y otras bacterias que convierten el nitrito (NO_2) en nitrato (NO_3) posteriormente.

Después el líquido pasa a las camas de crecimiento donde se encuentra el cultivo de plantas y es enviada directamente al sumidero el cual es un deposito o tanque que colecta el agua de todas las camas de crecimiento hidropónico para ser enviada directamente de regreso al tanque de los peces y reiniciar el ciclo (Rakocy, 2007). (Figura 4).

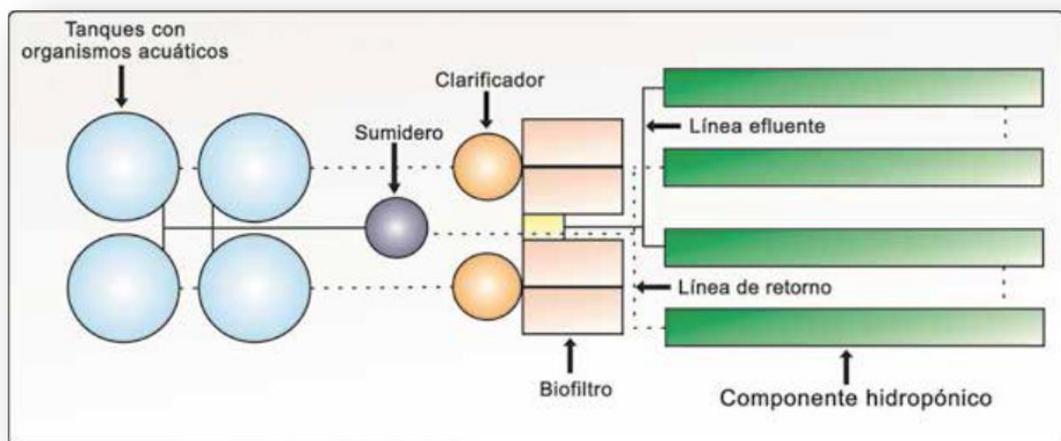


Figura 4. Sistema de recirculación acuapónico (Rakocy *et al.*, 2006).

3.3.1 Peces utilizados en acuaponía

Una gran cantidad de especies de peces dulceacuícolas, tanto de agua fría como templada, están adaptadas a los sistemas de recirculación acuaponicos. Entre estas se incluyen la cachama (*Colossoma macropomum*), carpa koi (*Cyprinus carpio*), Murray code (*Maccullochella peelii*) (Ramírez *et al.*, 2008), la carpa dorada (*Carassius auratus*) (Ramirez *et al.*, 2009), perca europea (*Perca fluviatilis*) y Artichar (*Salvelinus alpinus*) (Iturbide, 2008). Pero la tilapia (*Oreochromis niloticus*) y los híbridos de tilapia (*Oreochromis urolepis hornorum X Oreochromis mosambicus*). Son las especies más utilizadas en estos sistemas acuaponicos, ya que es poco exigente en cuanto a la calidad del agua y además toleran temperaturas que van desde los 9 a los 33°C; aunque su crecimiento se reduce por debajo de los 16°C.

Este amplio rango de temperatura en la que se puede desarrollar la tilapia y la poca exigencia en los parámetros de calidad del agua, la hace muy común en los sistemas acuáticos (Turkmen y Guner, 2010). También se han utilizado especies como la carpa (*Cyprinus carpio*); híbridos de carpa (*Ctenopharyngodon idella X Aristichthys nobilis*); goldfish (*Carassius sp.*) y trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) esta última es ideal para una temperatura entre los 10 y 15°C, aunque es una especie muy exigente en cuanto a la calidad del agua y necesita altos niveles de oxígeno disuelto (Selock, 2003).

3.3.2 Plantas utilizadas en acuaponía

En los sistemas acuaponicos muchas especies de vegetales han sido adaptadas a los cultivos hidropónicos con una estimación de aproximadamente más de 30 tipos de vegetales han sido cultivados en sistemas de recirculación acuaponicos con fines experimentales o de producción también es importante recalcar que la cantidad de plantas en los sistemas hidropónicos estarán directamente relacionados con la densidad de población en los estanques de peces y la concentración de nutrientes de los desechos acuícolas (Rakocy *et al.*, 1992).

Entre las especies de vegetales que más se han utilizados en los sistemas acuaponicos podemos encontrar la lechuga (*Lactuca sativa*), la espinaca (*Spinacia oleracea*) las cebolletas (*Allium cepa*) y la albahaca (*Ocimum basilicum*) entre otras, ya que una de las características particulares de estos vegetales es que tienen bajos requerimientos nutricionales y están bien adaptadas a los sistemas de recirculación acuaponicos a diferencia de las plantas que producen frutos como los tomates (*Solanum lycopersicum*), los pimientos (*Capsicum annuum*) y los pepinos (*Cucumis sativus*) que tienen una mayor demanda nutricional y se desarrollan mejor en sistemas acuaponicos más complejos (Diver, 1996; Masser, 2002).

3.3.3 Mantenimiento del sistema acuapónico

Para tener un óptimo funcionamiento del sistema, de acuerdo con Ramírez *et al.* (2008), es necesario considerar algunas recomendaciones:

- Se deben realizar revisiones periódicas sobre las variables fisicoquímicas, en especial el pH, el oxígeno disuelto y el nitrógeno presente en el agua.
- Las tuberías deberán revisarse y repararse en caso de haber algún bloqueo en el sistema.
- Al diseñar el sistema, se debe tener en cuenta la ubicación correcta de las válvulas, así como de los espacios adecuados para que las tuberías puedan ser desarmadas y realizar el mantenimiento adecuado.
- Se debe revisar si las plantas o los peces presentan síntomas de ataques de parásitos, plagas o enfermedades.
- Se debe tener en cuenta la alimentación de los peces en un horario establecido.
- Mantener el control del nivel del agua de los estanques.
- Control de fugas en las tuberías.
- Remoción de peces muertos en los estanques.

3.3.3.1 Parámetros que se deben de tomar en cuenta

La calidad del agua debe tener mayor atención para que el sistema funcione bien, debido a que este es el medio en el cual conviven peces y bacterias; del cual las plantas obtienen sus nutrientes. Es por esto, que el agua debe tener la calidad suficiente como para mantener adecuadamente a las tres comunidades existentes en el sistema acuapónico. Algunos parámetros físico-químicos del agua deben ser medidos en forma diaria (temperatura, oxígeno disuelto y pH), mientras que otros pueden ser medidos de manera periódica nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) (Dediu, 2012).

3.3.3.2 PH

El pH es un factor que interviene en varios procesos pero uno de los más importantes en los sistemas acuapónicos es la nitrificación. Este puede ocurrir en un rango muy variado de pH de 6 a 9. Pero algunos autores sostienen que el rango óptimo se encuentra entre 7.2 a 7.8 (Timmons & Ebeling 2007). También interviene en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que nutrientes esenciales como el hierro, manganeso, cobre, zinc, que se encuentran menos disponibles para las plantas a pH mayores de 7.5; mientras que la solubilidad del fósforo, calcio y magnesio, disminuye con un pH menor a 6 (Rafiee, 2006). Es por eso, que el pH debe ser adecuado para la especie de pez que se desee cultivar, siendo en general, valores dentro de un rango de 7 a 7.5 para la mayoría de las especies. Mantener en nuestro sistema acuapónico un pH de 7 hará que el mismo sistema funcione en forma correcta.

3.3.3.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto no requiere de tantos detalles como el pH. Simplemente cabe mencionar que este gas, debe mantenerse por encima de 3 mg/l siendo preferible una concentración igual o mayor a 5 mg/l. De encontrarse una disminución del oxígeno en el sistema, no se realizara una buena nitrificación, restando desechos metabólicos sin filtrar y acumulándose en concentraciones tóxicas para los peces.

Los peces y plantas ante la ausencia de oxígeno, dejan de crecer, y en el caso particular de los peces, pueden dejar de alimentarse y morir (Rakocy *et al.*, 1997).

3.3.3.4 Nitritos y nitratos

Los nitritos (NO_2) son un producto intermedio en el proceso de nitrificación y siguen siendo en concentraciones relativamente bajas, dependiendo de la especie que se esté cultivando. Los nitratos (NO_3) son el producto final de la nitrificación y es la forma oxigenada menos tóxica para los peces. Dependiendo de la especie bajo cultivo, pueden o no ser tóxicos. No obstante, estas concentraciones de nitratos nunca alcanzan a estar presentes en el sistema, debido al recambio de agua diario, con lo cual no producirán grandes problemas (Pedreira, 2007).

3.3.3.5 Amonio

Están compuestos principalmente de amonio (NH_4) en los estanques de cultivo, originado por la descomposición orgánica de los desechos sólidos en el sistema de cultivo. El amonio (NH_4) es extremadamente tóxico para los peces, y su cantidad depende del pH y la temperatura del agua. Los efectos del amonio en concentraciones bajas desde 0.02 a 0.07 mg/l han demostrado reducir el crecimiento y provocar daños en los tejidos branquiales en especies de aguas cálidas (Pereyra & Mercante, 2005).

3.4 Estudios realizados con sistemas acuaponicos

García *et al.*, (2005) evaluaron un sistema experimental con 40 plantas de pepino sobre dos camas de arena y una densidad de 0.6 peces por litro, se produjeron alrededor de 5kg de pepino y los peces crecieron hasta 25 gr en 75 días; esto nos indica que los compuestos nitrogenados fueron absorbidos por las plantas y se recirculo agua sin niveles peligrosos de amonio y nitritos para los peces. El pH estuvo en un rango de 6 a 7 manteniéndose en el rango ideal.

Hurtado *et al.*, (2009), evaluaron el crecimiento de peces goldfish (*Carrasius auratus*) y plantas de lechuga (*Lactuca sativa*), y el comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos. En términos generales el crecimiento de los peces fue lento pero la supervivencia fue elevada (80%). El crecimiento de las lechugas fue superior en los sistemas hidropónicos a pesar de mantenerse niveles bajos de pH, y el bajo nivel de nutrientes como el hierro, el calcio y el potasio.

Los valores del pH siempre tendieron a disminuir manteniéndose en un rango entre 4.5 y 5.0, iniciando con un valor en el agua de 6.2, lo que puede explicar el escaso crecimiento de los peces en el sistema. Estos valores de pH también tuvieron influencia en el cultivo de plantas ya que los nutrientes como fosforo y potasio presentan poca disponibilidad a ser absorbidos por las plantas a pH bajos.

Por otro lado Edwing *et al.*, (2011), evaluaron el crecimiento y parámetros productivos del orégano (*Origanum vulgare*) en sistemas acuaponicos e hidropónicos a modo de cama flotante, así mismo el crecimiento y parámetros productivos de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en sistemas acuaponicos. Las plantas en los sistemas acuaponicos presentaron mejores parámetros de productividad que los sistemas hidropónicos. Se presentaron valores de pH de 5.8 a 7.5 y valores de oxígeno disuelto entre 5 mg/l y 6 mg/l. Las plantas en ambos sistemas presentaron deficiencias en fosforo, hierro, adicionalmente los acuaponicos mostraron deficiencia en magnesio y boro. Los peces presentaron un lento crecimiento e inadecuados parámetros productivos, pero buenos porcentajes de sobrevivencia (60%). Los factores que afectaron el adecuado crecimiento de

los peces fueron las fluctuaciones de temperatura y la concentración de amonio al inicio de cada cosecha.

También Sánchez *et al.*, (2011), evaluaron de manera preliminar el desempeño de un sistema acuapónico con lechuga (*Lactuca sativa*) con el fin de ayudar a remover los contaminantes del agua y así mejorar la calidad del líquido en el sistema de recirculación para el cultivo de trucha arco iris (*O. mikyss*) Los valores de oxígeno disuelto y pH permanecieron dentro de los límites recomendados para los cultivos, con un valor mínimo de 5.3 mg/l y un máximo de 5.9 mg/l para el oxígeno disuelto y para el pH vario entre los valores de 4.3 y 6.9. Los tratamientos tuvieron una ligera acidez la cual es recomendada para la asimilación de nutrientes para la especie de lechuga. Se obtuvo un crecimiento 1.15 g/día en *O. mikyss* y una conversión alimenticia de 1.43 para dicho sistema; la lechuga registró dificultades de crecimiento por falta de iluminación.

Guillermo *et al.*, (2013) evaluaron a escala piloto el desempeño de un sistema de lagunas con helecho acuático (*Azolla pinnata*) en serie para el tratamiento de efluentes de cría de tilapia roja durante el proceso de engorda. La producción de *Azolla* fresca oscilo entre 42 y 87 g/m². La eficiencia de remoción obtenidas con esta especie de helecho acuático fueron las siguientes; demanda bioquímica de oxígeno (DBO) 49%, demanda química de oxígeno (DQO) 56%, solidos suspendidos totales (SST) 28% y niveles bajos de amonio (NH₄) 23%. Es por esto, que las eficiencias máximas obtenidas en la remoción de DBO, DQO y SST, demuestran que la acuaponia es una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales de los cultivos de peces.

3.5 Beneficios de la acuaponía

Varios autores han mencionado las ventajas y desventajas de los sistemas de recirculación de acuaponía (Rakocy y Bailey, 2004; Verdegem *et al.*, 2006; Diver, 2006; Pantanella, 2008; Grab y Junge, 2009; Martins *et al.*, 2010). Entre las ventajas se encuentran:

- Los sistemas de recirculación acuaponicos son un medio muy eficiente para reducir y aprovechar los residuos que normalmente son vertidos al ambiente.
- Se genera una producción integrada de peces y plantas puesto que los productos de desechos de los peces sirven como nutrientes para las plantas.
- Se producen alimentos más saludables debido a que no se aplican pesticidas ni herbicidas.
- Se incrementa la rentabilidad de los cultivos al obtener dos diferentes productos (plantas y peces).
- Al eliminar el suelo para la producción hidropónica se descartan la mayoría de las enfermedades de transmisión por el mismo.
- Se pueden cultivar una gran variedad de especies de plantas y peces.

3.6 Desventajas de la acuaponía

Algunas de las principales desventajas que se pueden encontrar en el uso de los sistemas acuaponicos de acuerdo con algunos autores como Baixauli y Aguilar, (2002) son las siguientes:

- La producción en volumen de plantas está limitada por la cantidad de peces en cultivo.
- Se requiere lograr un balance casi perfecto entre el número de plantas y el número de peces para no afectar a ninguno de los dos.
- La cantidad de espacio requerida es más grande debido a los estanques para los peces y el sistema hidropónico.
- Se requiere tener conocimiento sobre el control de plagas y enfermedades en el sistema acuapónico, ya que no se puede utilizar ningún tipo de químico.
- Alto costo inicial en infraestructura para fines comerciales.

IV. CONCLUSIÓN

La producción de alimentos mediante el uso de los sistemas acuaponicos se presenta como una alternativa eficiente, ya que combina a los sistemas de recirculación que se utilizan en la acuicultura y a los sistemas de producción hidropónicos. Los sistemas acuaponicos no solo son importantes por su doble producción al obtener peces y plantas, sino también porque mediante esta técnica se utiliza un mínimo porcentaje de agua y reduce de una forma muy eficaz el impacto al medioambiente, ya que en estos sistemas se aprovechan los desechos generados que se encuentran en el agua de los estanques en cultivo de peces para utilizarlos como un fertilizante natural en los cultivos hidropónicos. Además, los sistemas de recirculación acuaponicos se presentan como una nueva oportunidad de obtener mayores ingresos económicos, ya que se obtienen dos tipos de producciones con la ventaja adicional de obtener alimentos totalmente naturales, debido a que en este sistema no se recomienda emplear ningún tipo de químicos. Sin embargo, en muchas ocasiones el inicio de un nuevo sistema de producción ya sea pequeña, mediana o gran escala, pueden acarrear costos iniciales elevados. Por último, como en la mayoría de los sistemas novedosos, la acuaponía aún requiere investigación adicional para establecer procedimientos más precisos y alcanzar mayores producciones para los diferentes tipos de cultivo del sector acuícola e hidropónico.

V. RECOMENDACIONES

En los sistemas acuapónicos se han utilizado diferentes tipos de especies de cultivo. Entre estas especies utilizadas la más viable es la tilapia (*O. niloticus*), ya que esta especie tiene un amplio rango de tolerancia a las fluctuaciones en algunos parámetros del agua como son: el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto, además de ser una especie muy resistente a enfermedades y de muy buen crecimiento.

En el caso de los cultivos hidropónicos las especies vegetales más recomendables a utilizar es la lechuga (*Lactuca sativa*), ya que una de las características más importantes de este vegetal son los bajos requerimientos nutricionales que esta necesita, lo que hace que su crecimiento sea más rápido, además de mantener parámetros aceptables de pH. En cuanto a los tipos de sistemas hidropónicos, el sistema más recomendable a escala comercial es el sistema de solución nutritiva recirculante, ya que este sistema ha probado tener mayores producciones en comparación con los demás, aunque es importante mencionar que este sistema es el que representa mayor costo de inversión.

En el caso del sistema de sustrato sólido y el sistema de raíz flotante pueden ser utilizados en pequeña y mediana escala, ya que son sistemas menos intensivos pero que además representan un menor costo de inversión. Sin embargo, es necesario desarrollar líneas de investigación con el fin de obtener mejores prototipos en los sistemas acuapónicos y con esto tener mejores resultados en el tratamiento de las descargas de agua de los estanques de cultivo, aumentando la superficie de cultivo hidropónico para reducir los componentes tóxicos que contienen los desechos acuícolas y finalmente realizar las pruebas correspondientes para encontrar un balance entre la densidad de peces y los cultivos hidropónicos.

VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Adler P.; Takeda F.; Glenn D.; Summerfelt S. (1996). Utilizing byproducts to enhance aquaculture sustainability. En: World Aquaculture. Vol. 27, No. 2. Pag: 24-26.

Adler P.; Harper J.; Wade E.; Takeda F.; Summerfelt S. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. International Journal of Recirculating Aquaculture. Vol. 1. Pag: 10-13.

Alcántar G. & Trejo L. (2007). Principios de la hidroponía y del fertirriego: Nutrición de cultivos. Mundi Prensa Editorial. México. Pag: 374-438.

Al-Hafedh Y.; Alam A.; Beltagi M. (2008). Food Production and Water Conservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratios of Fish Feed to Plants. En: Journal of the world aquaculture society. Vol. 39, No. 4. Pag: 510-520.

Amirkolaie A. (2008). Environmental impact of nutrient discharged by aquaculture waste water the Haraz river. En: Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 3. Pag: 275-279.

Baixauli S. & Aguilar J. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Serie de divulgación técnica. Pag: 12.

Dediu L.; Cristea V.; Xiaoshuan Z. (2012). Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. En: African Journal of Biotechnology. Vol. 11, No. 9. Pag: 2349-2358.

Diver S. (1996). Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture. En: ATTRA (Sustainable Agriculture Information Service) and National Center for Appropriate Technology. No.163. Pag: 1-20.

Diver S. (2006). Aquaponics Integration of ATTRA Hydroponics with Aquaculture. En: ATTRA. Pag: 1-28.

Edwin, G.; Laura M.; María M.; Pedro J.; Hurtado H. (2011). Evaluación preliminar de sistemas acuapónicos e hidropónicos en cama flotante para el cultivo de orégano (*Origanum vulgare*: LAMIACEAE). ISSN 1900-4699. Vol. 7, No. 2. Pag: 242-259.

FAO. (2010). The State of World Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries Department, Rome. Pag: 5.

Fox B.; Howerton R.; Tamaru C. (2010). Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems. En: Biotechnology. Vol. 10. Pag: 2-11.

García M.; León C.; Hernández F.; Chávez R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. Avances en Investigación Agropecuaria. Vol. 9. Universidad de Colima México.

Grab A. & Junge R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. En: Desalination. Vol. 247. Pag: 148-157.

Grande E. & Luna P. (2010). Comparación de la producción de lechuga a 6, 12 y 18 plantas/m² con 40 y 70 ppm de nitrógeno total en acuaponía con tilapia. Tesis Lic. Zamorano, HN, Escuela Agrícola Panamericana. Pag: 23.

Guillermo F.; Julia B.; Javier M. (2013). Tratamientos de efluentes piscícolas (Tilapia Roja) en lagunas con *Azolla pinnata*. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol. 11, No. 2. Pag: 46-56.

Guzmán R. & Moreno L. (2005). La acuaponía una estrategia interdisciplinaria generadora de conocimientos en la escuela normal de Gachetá. Pag: 5.

Harmon T. (2003). NFT Aquaponics Systems: A Closer Look. Aquaponics Journal 7. Pag: 8-11.

Hernández C.; Gómez E.; Hurtado H. (2010). Estudio preliminar del levante de juveniles de arawana plateada *Osteoglossum bicirrhosum* en sistemas cerrados de recirculación. Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Militar Nueva Granada. Vol. 6. Pag: 96-113.

Hurtado H.; Jimenez P.; Ramirez D. (2008). La acuaponía una alternativa orientada al desarrollo sostenible. Revista facultad de ciencias básicas. Vol. 4. Universidad Militar Nueva Granada.

Hurtado H.; Rodrigo D.; Gómez E.; Sabogal D.; Ramirez D. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. ISSN 1900-4699. Vol. 5, No. 1. Pag: 154-170.

Iturbide K. (2008). Caracterización de los efluentes de dos sistemas de producción de tilapia y el posible uso de plantas como agentes de biorremediación. Tesis M. Sc. Ciudad de Guatemala, GT, Universidad de San Carlos de Guatemala. Pag: 74.

Lennard W. & Leonard B. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. En: Aquaculture International. Vol. 14. Pag: 539-550.

Lewis W.; Yopp J.; Schramm H.; Brandenburg A. (1978). Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. Transactions of the American Fisheries Society. Vol. 107. Pag: 92-99.

Martins C.; Eding E.; Verdegem M.; Heinsbroek L.; Schneider O.; Blancheton J.; Orbcassel E.; Verreth J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. En: Aquacultural Engineering. Vol. 43, No. 3. Pag: 83-93.

Masser M. (2002). Hydroponics integration with aquaculture. First Ed. Alabama. Pag: 23.

Mateus J. (2009). Acuaponía: hidroponía y acuacultura, sistema integrado de producción de alimentos. Red Hidroponía, Boletín No. 44. Pag: 7-10.

Mcmurtry M.; Sanders D.; Cure J.; Hodson R.; Haning B.; Amand P. (1997). Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system. En: Journal of the World Aquaculture Society. Vol. 28. Pag: 420-428.

Mcmurtry M.; Sanders D.; Patterson R.; Nash. (1993). A. Yield of tomato irrigated with recirculating aquaculture water. En: Journal of Productive Agriculture. Vol. 6. Pag: 429-432.

Nelson R. (2006). Introduction to Recirculating Aquatic Systems. Aquaponics Journal, 33. Pag: 20.24.

Nelson R. (2008). Aquaponic food production: growing fish and vegetables for food and profit. USA. Pag: 217.

Pantanella E. (2008). Pond aquaponics: new pathways to sustainable integrated aquaculture and agriculture. En: aquaculture news. Vol. 34. Pag: 10-11.

Pardo S.; Suarez H.; Soriano E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para La acuicultura responsable. En: Revista MVZ Córdoba. Vol. 11, No. 1. Pag: 20-29.

Pedreira M.; Luz R.; Epaminondas J.; Sampaio E.; Silva R. (2009). Biofiltración de agua y tipos de sustrato en la larvicultura de *Lophiosilurus alexandri*. Brasília. Vol.44, No. 5. Pag: 511-518.

Pereira L. & Mercante C. (2005). A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. B. Inst. Pesca, São Paulo. Vol. 31, No. 1. Pag: 81-88.

Piedrahita R. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. En: Aquaculture. Vol. 226, No. 1-4. Pag: 35-44.

Rafiee G. & Saad C. (2006). The Effect of Natural Zeolite (Clinoptiolite) on Aquaponic Production of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) and Lettuce (*Lactuca sativa var. longifolia*), and Improvement of Water Quality. Journal of Agriculture Science and Technology. Vol. 8. Pag: 313-322.

Rakocy J.; Bailey D.; Shultz R.; Thoman E. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the aquaponic system. Virgin Islands. Pag: 15.

Rakocy J. (1999). The status of aquaponics, Part 1 . Aquaculture Magazine. Vol. 25, No. 4. Pag: 83-88.

Rakocy J. (2007). Aquaponics: integrating fish and plant culture. En: Timmons M.B.; Ebeling J.M. Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. Cap. 19. Pag.: 975.

Rakocy J.; Bailey D.; Shultz K.; Cole W. (1997). Evaluation of a commercial-scale aquaponic unit for the production of Tilapia and lettuce. In: Tilapia aquaculture: proceedings from the 4th international symposium on Tilapia in Aquaculture. Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca, New York. Pag: 603-613.

Rakocy J. & Hargreaves J. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. En: Techniques of modern aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Missouri, USA. Vol 1. Pag: 112-136.

Rakocy J.; Losordo T.; Masser M. (1992). Recirculating aquaculture tank production systems: integrating fish and plant culture. En: SRAC Publication. No. 454. Pag: 1-8.

Rakocy J.; Masser M.; Losordo T. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics – Integrating fish and plant culture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC). Publication. No. 454. Pag: 1-8.

Ramírez D.; Sabogal D.; Jiménez P.; Hurtado H. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. En: Revista facultad de ciencias básicas. Vol. 4, No. 1. Pag: 32-51.

Ramirez D.; Sabogal D.; Gómez E.; Rodríguez D.; Hurtado H. (2009). Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico Goldfish-Lechuga. En: Revista facultad de ciencias básicas. Vol. 5, No. 1. Pag: 154-170.

Rivara G. (2000). Small scale aquaculture: Aquaponics. Breinigsville. Alternative aquaculture association, Inc. Pag: 189.

Sánchez O.; Chamorro L.; Morillo N.; Burbano C.; Casanova D.; Mejía M.; Pecillo N.; Zamora S.; Angulo A. (2011). Diseño, montaje y evaluación preliminar del desempeño de un sistema acuapónico, utilizando lechuga (*Lactuca sativa*) Y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en un sistema de recirculación acuícola. No. 2. Pag: 1515-5941.

Selock D. (2003). An introduction to aquaponics: the symbiotic culture of fish and plants. Rural Enterprise and Alternative Agricultural Development Initiative Report No. 20. Southern Illinois University, Illinois, USA.

Timmons M.; Ebeling J.; Wheaton F.; Summerfelt S.; Vinci B. (2002). Sistemas de recirculación para la acuicultura. Fundación Chile. Santiago de Chile. Pag: 748.

Timmons M.; Ebeling J. (2007). Recirculating Aquaculture. Cayuga Aqua Ventures. Ithaca. New York, USA. Pag: 975.

Turkmen G. & Guner Y. (2010). Aquaponic (Integrating Fish and Plant Culture) Systems. En: 2nd International Symposium on Sustainable Development, June 8-9. Sarajevo. Vol. 1. Pag: 657-666.

Verdegem M.; Bosma R.; Verreth J. (2006). Reducing water use for animal production through aquaculture. En: Int. J. Water Resour. Dev. Vol. 22. Pag: 101-113.