

Manual de buenas prácticas para la producción de tenguayaca (*Petenia splendida*) con el método de Acuaponía



Por Armando Jiménez

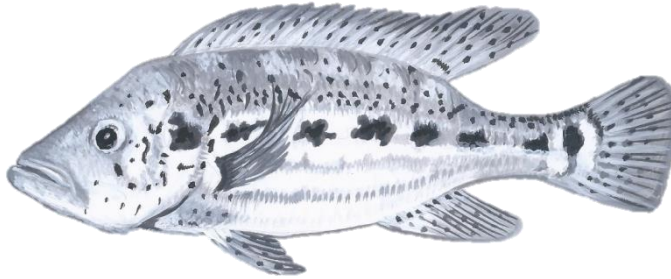
PLAN DE RECONVERSIÓN PRODUCTIVA DE TILAPIA DE MOZAMBIQUE (*Oreochromis mossambicus*) POR TENGUAYACA (*Petenia splendida*) EN LA POBLACIÓN DE ANDRÉS QUINTANA ROO, COMUNIDAD LÍMITROFE A LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE SIAN KA'AN



“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus estados miembros.”



Servicio de Consultoría para la elaboración de un Plan de reconversión productiva de Tilapia de Mozambique por Tenguayaca en la población de Andrés Quintana Roo, comunidad limítrofe a la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an



Por: Armando Jiménez

Manual de buenas prácticas para la producción de tenguayaca (*Petenia splendida*) con el método de Acuaponía

Consultor: Econciencia A.C.

Arturo E. Bayona Miramontes

Ivonne Cruz Santander

Diego R. Briceño Domínguez

Fecha de Elaboración: Noviembre 14 de 2017

Título:	Plan de reconversión productiva de Tilapia de Mozambique por Tenguayaca en la población de Andrés Quintana Roo, comunidad limítrofe a la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an.
Descripción:	El objetivo del presente manual es estimular el aprovechamiento de especies nativas de alto valor nutricional como la tenguayaca (<i>Petenia splendida</i>) para disminuir el riesgo que representa la especie exótica invasora tilapia de Mozambique (<i>Oreochromis mossambicus</i>), mediante la implementación de un proyecto de acuicultura en la comunidad de Andrés Quintana Roo.
Período	Fecha de inicio: Mayo/2017 Fecha de Término: Noviembre /2017.
Año:	2017
Status:	Achieved <input type="radio"/> On track <input type="radio"/> Off track <input type="radio"/>
<p>Área objeto: Reserva de La Biosfera Sian Ka'an</p> <p>El presente Manual se alinea al objetivo estratégico 1 de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: Prevenir, detectar y reducir el riesgo de introducción, establecimiento y dispersión de especies invasoras, a la Meta 1.6 de la Estrategia Nacional para el 2020, enfocada a la sustitución de especies invasoras nocivas, de uso arraigado, por especies nativas de menor riesgo.</p> <p>También se relaciona con el manejo de EEI en áreas naturales protegidas (ANP) continentales, apoyando la implementación de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras (ENEI) principalmente en sus objetivos para el fortalecimiento de la efectividad de su manejo.</p> <p>El Manual de Buenas Prácticas se enfoca al desarrollo y aplicación de nuevas herramientas y metodologías como la Acuaponía para la toma de decisiones que permitan a México poner en práctica su visión nacional de prevención y control de las EEI, desarrollando las políticas, normas y herramientas para reducir o eliminar las prácticas nocivas en estos sectores (CONABIO 2016).</p> <p>Ampliará la experiencia práctica en sitios piloto seleccionados como la comunidad maya de Andrés Quintana Roo y los conocimientos acerca de la gestión de las especies invasoras por medio de programas integrados en ANP, específicamente la Reserva de la Biosfera de Sin Ka'an, haciendo énfasis en que el principal objetivo será evitar o reducir la entrada y propagación de las EEI a estas áreas a través de diferentes estrategias.</p>	

Autores: Arturo Enrique Bayona Miramontes, Ivonne Cruz Santander, Diego Ramón Briceño Domínguez.

Modo de citar:

PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2017. Manual de buenas prácticas para la producción de tenguayaca (*Petenia splendida*) con el método de Acuaponía. Plan de reconversión productiva de Tilapia de Mozambique por Tenguayaca en la población de Andrés Quintana Roo, comunidad limítrofe a la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an. Proyecto **GEF 00089333** "Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI". Bayona-Miramontes, A. E., Cruz-Santander, I., Briceño-Domínguez, D. R. ECONCIENCIA A.C. Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo, México. 58 pp.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	iii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 GENERALIDADES DE LA ACUAPONÍA	4
3 ELEMENTOS DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO	8
3.1 Tanque para cultivar los peces.....	9
3.2 Bomba de aireación.....	10
3.3 Bomba de agua.....	10
3.4 Biofiltro.....	10
4 TIPOS DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS	13
4.1 Sistema de raíz flotante.....	13
4.2 Sistema de solución nutritiva recirculante.....	15
4.3 Sistema de camas con sustrato sólido.	17
5 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON EL SISTEMA DE CAMAS CON SUSTRATO SÓLIDO	18
5.1 Tanques de agua	20
5.2 Las camas hidropónicas.....	20
5.3 Sistema de tuberías, bomba de agua e interruptor	25
5.4 El sustrato.....	27
5.5 El biofiltro	29
5.6 Sedimentador	34
5.7 Activación y prueba del sistema.....	35
6 TENGUAYACA (<i>Petenia splendida</i>).....	39
6.1 Descripción de la especie	39
6.2 Taxonomía	40
6.3 Distribución geográfica	40
6.4 Aspectos biológicos	40
6.5 Reproducción	41
6.6 Desarrollo	41
6.7 Importancia en la acuicultura y en pesquerías	42
7 LAS BACTERIAS Y LA CALIDAD DEL AGUA	43
8 LAS PLANTAS (organismos vegetales).....	44
9 RUTINAS DIARIAS Y SEMANALES	45

10	MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN UN CULTIVO ACUAPÓNICO	46
11	PROCESOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y/O BIOLÓGICOS A REALIZAR SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES.....	50
11.1	Manejo que se dará a los lodos generados.....	50
11.2	Manejo de materiales de deshecho	51
11.3	Características esperadas del afluente	53
12	BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Tolerancia de las bacterias nitrificantes a diferentes parámetros de calidad del agua	43
Figura 1.- Acuaponía, combinación de acuicultura e hidroponía.5	
Figura 2.- Chinampa azteca. Fuente: Cultura huasteca.	6
Figura 3.- Esquematzación del proceso acuapónico.	7
Figura 4.- Sistema acuapónico simple.	8
Figura 5.- Tanque para cultivo de peces.	9
Figura 6.- Representación de las reacciones de nitrificación ocurridas en el sistema acuapónico ..	11
Figura 7.- Ejemplo de biofiltro.....	12
Figura 8.- Esquema del sistema de raíz flotante.	14
Figura 9.- Sistema de raíz flotante.	14
Figura 10.- Sistema de solución nutritiva recirculante o NFT (del inglés Nutrient Film Technique). 15	
Figura 11.- Esquema del sistema NTF	16
Figura 12.-Sistema de tubos interconectados, del sistema NFT.	16
Figura 13.- Representación de una unidad de acuiponía que consta de una cama de cultivo con sustrato.	17
Figura 14.- Cámara hidropónica con sustrato sólido.	18
Figura 15.- Esquema de un sistema acuapónico con camas hidropónicas.	19
Figura 16.- Partes del cultivo: 1.- Agujeros laterales (horizontales de drenaje), 2.- Solución nutritiva, 3.- Sustrato, 4.- Sistema de raíces y 5.- Planta.	19
Figura 17.- Distribución de áreas granja acuícola de Andrés Quintana Roo.....	20
Figura 18.- Marco externo de la cama hidropónica.	21
Figura 19.- Disposición de las tablas en el fondo de la cama.....	22
Figura 20.- Cama hidropónica	23
Figura 21.- Cama completa con orificio de salida del agua.....	24
Figura 22.-Tubería del sistema hidropónico.	25
Figura 23.- Entrada de agua.	26
Figura 24.- Construcción de la salida de agua.....	26
Figura 25.- Izquierda: Salida de agua de las camas; derecha acercamiento.....	27
Figura 26.- Bomba de agua.	27
Figura 27.- Estructura general de un biofiltro.....	29
Figura 28.- Primera capa de bio-bolas	30
Figura 29.- Segunda capa de bio-bolas respetando un arreglo geométrico.	30
Figura 30.- Vista de las capas de bio-bolas.....	31
Figura 31.- El biofiltro con material esponjoso	31
Figura 32.- Entrada y salida de agua del biofiltro.....	32
Figura 33.-Tambor empleado como biofiltro.....	33
Figura 34.- Sistema con recirculación sin recambio de agua utilizando sedimentador y biofiltración.	34
Figura 35.- Flujos de agua en el sistema acuapónico.....	38
Figura 36.- Pez tenguayaca, tenhuayaca, o bocona cuyo nombre científico es <i>Petenia splendida</i> (Günther 1862).....	39

Figura 37.- Compuestos nitrogenados durante las primeras semanas en un sistema de recirculación de acuicultura, también llamado maduración de biofiltro o formación de colonia bacteriana.	44
Figura 38.- Marchitamiento fúngico (damping-off), caracterizado por un adelgazamiento en el tallo.....	47
Figura 39.- Círculos concéntricos de necrosis en hoja producido por <i>Alternaria solani</i>	48
Figura 40.- Biodigestor clarificador	51

1 INTRODUCCIÓN

El agua se está convirtiendo en un producto cada vez más escaso; al paso del tiempo puede llegar a ser un recurso más importante que el petróleo. Actualmente, existe una cantidad limitada de agua dulce disponible para los habitantes del planeta y todo parece indicar que la población mundial se duplicará en poco tiempo, aumentando la demanda. Es bien conocido que, en algunos lugares, ya se ha sobrepasado la capacidad para surtir del vital líquido a la población urbana (Hoekstra, 2008).

Por otra parte, la producción agrícola utiliza cerca del 75-80% del total de agua dulce disponible en el mundo (Tolón-Becerra *et al.*, 2013). Los actuales sistemas de irrigación desperdician una cantidad considerable del recurso, que fluye junto con fertilizantes y pesticidas de los cultivos, hacia sistemas hidrológicos superficiales como lagunas, aguadas, ríos y canales naturales, o bien, se filtra al manto freático contaminando pozos, cenotes y porciones del llamado Gran Acuífero Maya, considerado uno de los mayores depósitos subterráneos de agua dulce del planeta, localizado bajo la Península de Yucatán (Batllori-Sampedro, 2016).

Así mismo, la alta demanda de productos pesqueros procedentes de granjas acuícolas especializadas, requiere cada año de mayores volúmenes de agua para cubrir las necesidades alimentarias de un mercado siempre creciente, impulsando a los productores a mejorar las técnicas de cultivo, que muchas veces se enfocan en la reproducción artificial de especies exóticas invasoras. Tal es el caso de la Tilapia de Mozambique (*Oreochromis mossambicus*), lo que ha propiciado su dispersión en cuerpos de agua dulce de la Península de Yucatán, y otros estados de la República Mexicana, creando una feroz competencia por espacio, alimento y refugio entre las especies nativas, muchas de ellas endémicas y únicas por sus características evolutivas y de adaptación (Amador-del Ángel & Wakida-Kusunoki, 2014).

El presente Manual de Buenas Prácticas para la Reproducción de Tenguayaca (*Petenia splendida*) con el método de Acuaponía, pretende evitar que continúen estas experiencias con especies invasoras y ser una guía para la implementación de una granja acuícola, que promueva el cultivo de la especie nativa *P. splendida*, con el método de Acuaponía, como una alternativa innovadora en la producción de alimentos de origen animal y vegetal en las comunidades mayas, o bien el cultivo de dicha especie como pez de ornato, para su comercialización y así generar recursos económicos para las familias de productores, todo esto enfocado a apoyar la implementación de la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras en México (CANEI, 2010).

La especie *Petenia splendida* conocida popularmente como “bocona” o “tenguayaca” es un pez nativo, muy apreciado en la Zona Maya de Quintana Roo por su color, tamaño, textura y sabor; representa un recurso natural de gran potencial para la acuicultura, pues es relativamente abundante, está adaptada al trópico y habita aguas someras sin mucho movimiento, como lagunas, cenotes y canales superficiales distribuidos en la zona continental de Quintana Roo (Schmitter-Soto & Gamboa-Pérez, 1996). En algunas comunidades de la zona maya es tradicional su consumo y cultivan este pez de manera natural y artesanal en depresiones inundadas del suelo cercanas a sus hogares, sin ninguna técnica especial; gastronómicamente presenta una mayor demanda que la Tilapia y existe la posibilidad de enfocar su cultivo como especie de ornato, dirigido a un mercado diferente al de consumo humano.

Por otro lado, evitará en gran medida que se siga dispersando la tilapia en cuerpos de agua naturales de la península, cumpliendo así uno de los principales objetivos de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras.

Pérez-Vega y colaboradores (2004) han estudiado la crianza de *P. splendida* para establecer un módulo de reproducción de alevines del mismo, obteniendo hasta el momento resultados favorables.

Ruiz-Fumagalli & Kihn (2006) determinaron los ciclos reproductivos de peces con importancia alimenticia del Río San Pedro, Petén, Guatemala, entre las especies estudiadas estaba la tenguayaca. En este trabajo se realizaron análisis morfométricos y una relación del tamaño del espécimen y madurez gonadal para el establecimiento de temporadas de veda. Se reportó que, para las hembras, el mes de mayor actividad reproductiva fue agosto y para los machos agosto y octubre, sugiriendo picos de fertilidad durante los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre. Por otra parte, el estudio apunta que la fertilidad de las hembras no guarda ninguna relación con el peso.

Ixquiac-Cabrera (2010) realizó un acercamiento inicial al crecimiento del Pez Blanco (*Petenia splendida*) en tres hábitats: áreas de cultivo, un lago (Petén Itzá) y un río San Pedro en Guatemala).

De acuerdo con Cano-Alfaro (2014), como parte del plan de trabajo incluido en el gobierno de la República de Guatemala, el día 29 de septiembre del año 2006 se realizó la primera liberación de alevines de blanco (*Petenia splendida*) con el fin de contribuir a la protección de esta especie que es objeto de pesca y goza de gran importancia a nivel alimenticia en el departamento del Petén.

El Gobierno de Guatemala a través del Ministerio de Agricultura del Petén y de la Unidad de Manejo de la Pesca y Acuicultura, han desarrollado la reproducción en cautiverio de esta especie nativa desde el año 2003 en las instalaciones del Centro de Producción y Capacitación Acuícola ubicado en El Remate, Flores.

Como inicio del trabajo de repoblamiento se sembraron 30,000 alevines de blanco y se tiene considerado continuar con el trabajo de reproducción en cautiverio y liberación en el Lago Petén Itzá (Cano-Alfaro, 2008).

La Acuaponía es un sistema de producción integral de peces y vegetales dentro del cual los nutrientes en el efluente de la acuicultura podrían aprovecharse para nutrir y cultivar plantas; mientras tanto, potencialmente el agua de la producción de pescado contaminada se limpiaría antes de ser liberada en el medio ambiente (Ako, 2014).

2 GENERALIDADES DE LA ACUAPONÍA

La Acuaponía es la combinación de dos sistemas de producción: La acuicultura y la hidroponía, tiene como propósito generar alimento de alta calidad para consumo humano directo y aprovechar los desechos de los organismos acuáticos previo a su descomposición bacteriana, para convertirlos en los nutrientes que requieren las plantas para su desarrollo (Mateus, 2009).

La Acuaponía es una técnica que integra la acuicultura (producción de peces de agua dulce), con la hidroponía (producción de plantas sin uso de suelo), en este caso, el cultivo de hortalizas. La acuicultura ha tenido ciertos problemas de aceptación debido al extensivo uso de tierras, al acaparamiento del agua, y, sobre todo, a la alta toxicidad que presentan las aguas residuales que se generan con este método. Dichas aguas terminan descargándose directamente a los ecosistemas, esto puede llegar a ser mortal para otros peces, debido a su alto contenido de nitrógeno, además de favorecer el crecimiento masivo de algas (Pardo *et al.*, 2006). La hidroponía también genera aguas residuales contaminantes como resultado de la compleja mezcla de nutrientes usados para el crecimiento de las plantas.

Acuicultura: Cría de organismos acuáticos, entre los que se encuentran: peces, moluscos, crustáceos y plantas. La mayor parte de la acuicultura se lleva a cabo en el mundo en desarrollo, para la producción de especies de peces de agua dulce de poco consumo en la cadena alimentaria, como la tilapia o la carpa (Mateus, 2009).

Hidroponía: Esta palabra deriva del griego *hydro* (agua) y *ponos* (labor o trabajo), lo cual significa etimológicamente trabajo en agua. Es un método de cultivo muy eficaz que utiliza diferentes sistemas con sustratos para producir una amplia variedad de plantas. Las plantas son alimentadas con una solución nutritiva que incluye todos los nutrientes esenciales. Esta solución se aplica directamente a las raíces, lo que permite que las plantas se desarrollen más rápido y tengan mejor sanidad que las cultivadas en suelo (Mateus, 2009).

En la Figura 1, se esquematiza el desarrollo de la Acuaponía basado en la combinación de las dos técnicas descritas anteriormente.

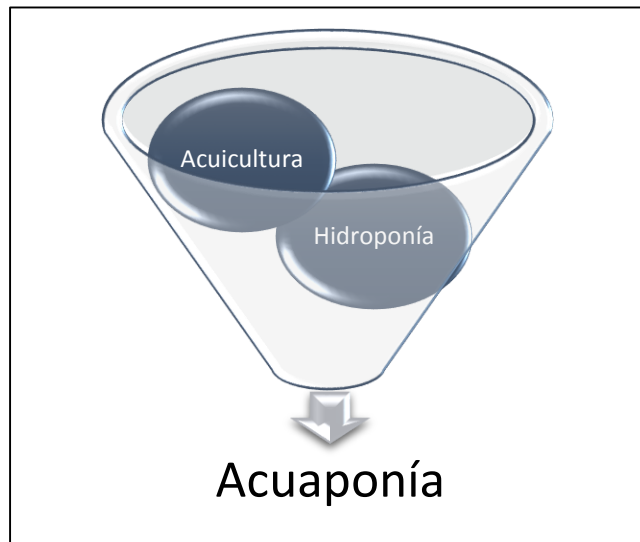


Figura 1.- Acuaponía, combinación de acuicultura e hidroponía.
Fuente: Econciencia, 2017



Figura 2.- Chinampa azteca.

Fuente: Cultura huasteca (detalle) Mural, Palacio Nacional de México. Diego Rivera, 1950.

Diferentes fuentes mencionan que los aztecas practicaron una forma similar a la Acuaponía. Construían unas estructuras artificiales conocidas como “chinampas” Figura 2 donde crecían maíz y otras plantas comestibles (Boutwell, 2007). Los canales navegables que rodeaban estas islas fueron usados para el cultivo de peces y los desechos que caían al fondo, eran recuperados para fertilizar a las plantas (Martinez-Yañez, 2013).

En la práctica, es posible usar diferentes estructuras y espacios para implementar un sistema Acuapónico, donde los materiales o sustratos para fijación de las plantas pueden variar en función de: 1) la disponibilidad, 2) la fisiología y 3) las características anatómicas y desarrollo de la raíz de las plantas a cultivar (Boutwell, 2007). Cualquiera que se seleccione es con la finalidad de obtener el máximo rendimiento en el menor espacio posible.

El agua que se desecha de los sistemas de producción acuícola contiene nutrimentos que por sí solos son altamente tóxicos para los peces, por lo que hay que removerlos para evitar niveles críticos. En el siguiente esquema (Figura 3) podemos visualizar el funcionamiento de

la Acuaponía y como los desechos de los peces se transforman en alimento para los vegetales gracias a la acción de los microorganismos.



Figura 3.- Esquematización del proceso acuapónico.

Fuente: TECA-FAO (2014) <http://teca.fao.org/es/read/8725>.

3 ELEMENTOS DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO

A continuación, se mencionan los elementos que se requieren para la instalación de un sistema Acuapónico a pequeña escala. Estos elementos se esquematizan en la Figura 4.

1. Tanque para cultivar los peces
2. Bomba de aireación
3. Bomba de agua
4. Biofiltro
5. Sistemas de cultivos hidropónicos

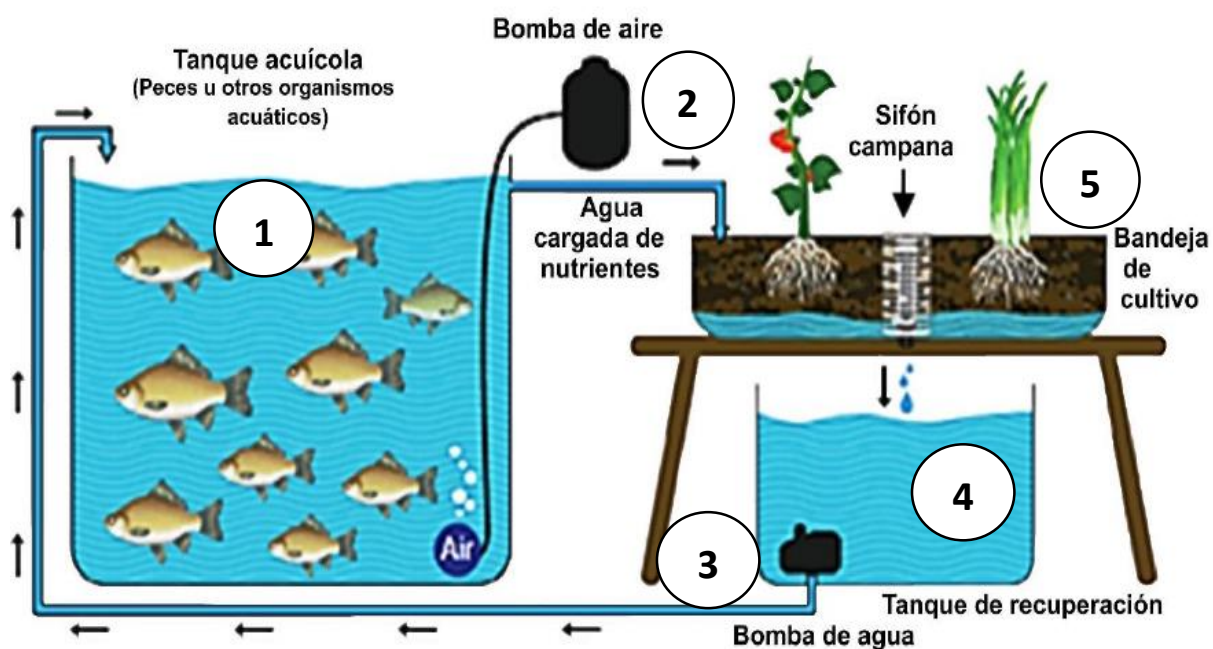


Figura 4.- Sistema acuapónico simple.

Fuente: TECA-FAO (2014) <http://teca.fao.org/es/read/8725>.

Componentes acuapónicos

3.1 Tanque para cultivar los peces

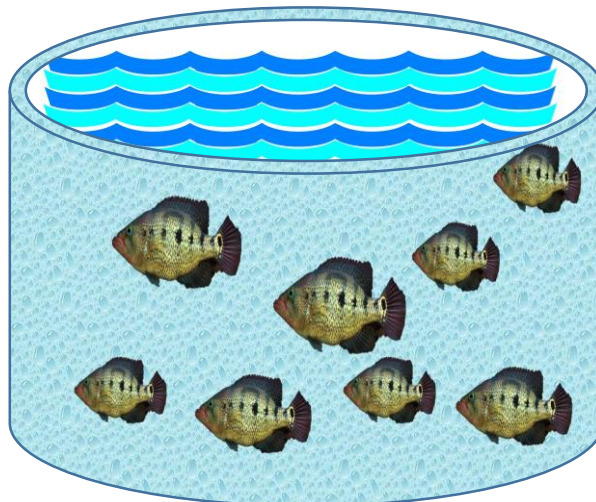


Figura 5.- Tanque para cultivo de peces.

Fuente:<http://teca.fao.org/es/read/8725>

Se refiere al depósito para cultivar los peces, éste es un componente indispensable en un sistema Acuapónico pues en éste se desarrollarán los ejemplares de tenguayaca. Es necesario que sea de un material resistente, que sus dimensiones sean proporcionales al número y el tamaño de la producción que se planea obtener. Asimismo, debe tomarse en cuenta que el área del tanque es más importante que su altura, pues estos animales se desplazan más en forma horizontal que vertical. Estos depósitos o tanques pueden variar dependiendo de las necesidades y capacidades del acuicultor, desde peceras de vidrio o acrílicas, barriles plásticos, tanques plásticos o piletas de concreto; el volumen puede variar desde pocos litros a varios metros cúbicos. Si es a pequeña escala, es importante que el tanque no haya sido utilizado previamente para el transporte de sustancias tóxicas, ya que estas pueden seguir disolviéndose en el agua y comprometer la salud de los peces y el crecimiento de las hortalizas; además se aconseja que el contenedor a usar como tanque no sea de metal, pues el agua puede corroerlo formando herrumbre y perjudicando a los peces (Sommerville *et al.*, 2014).

En cuanto a la relación volumen de agua con el tamaño o peso de los peces, se recomienda un litro de agua por cada 5 centímetros de peces o 10-15 gramos de peces por litro de agua; debiendo considerarse también para ese cálculo, la longitud o peso final de los peces. Además, 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 (Sommerville *et al.*, 2014).

3.2 Bomba de aireación

Los peces necesitan la presencia de oxígeno disuelto en el agua para su sobrevivencia y desarrollo. También las raíces de las plantas se ven beneficiadas por la presencia de oxígeno disuelto en el agua del sistema, ya que previene la pudrición de las raíces al estar sumergidas durante el paso de esta a través del sistema hidropónico. La concentración mínima de oxígeno disuelto varía según la especie cultivada. Según Caro y colaboradores (1994), la tenguayaca (*P. splendida*) tolera niveles bajos de oxígeno disuelto hasta de 1.6 mg L⁻¹ aproximadamente. Sin embargo, es recomendable que los sistemas tengan niveles de oxígeno superiores a los 5 mg L⁻¹ de oxígeno disuelto. Debido a lo anterior, es necesario que la bomba de aireación esté funcionando las 24 horas, sin interrupciones. Para lograr la adición de oxígeno al sistema acuapónico se utilizan bombas de compresión de aire conectadas a piedras difusoras, la bomba succiona aire del exterior hacia dentro del sistema y las piedras difusoras se encargan de generar las micro burbujas de aire que se distribuye en el sistema y que beneficia a las plantas y peces (Carruthers, 2015). La aireación en el sistema es de suma importancia, en caso de tener interrupción de corriente eléctrica, se debe tener un generador de electricidad con gasolina de respaldo para no perder la producción. Una alternativa de sistema de aireación consiste en una cruz de tubería de PVC de ¾ de pulgada, perforada con un taladro y conectada a la bomba de aireación o *blower* de 5 HP.

3.3 Bomba de agua

La bomba de agua es el motor del sistema acuapónico, dirige el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de éstos, la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación. La circulación del agua generada por la bomba, garantiza que los componentes del sistema (microorganismos y plantas) reciban sus nutrientes; de esta forma se filtra y mejora la calidad del agua que los peces recibirán una vez que el agua complete su recorrido al regresar al tanque. La bomba de agua se activa manualmente o a través de un interruptor el cual se programa según las necesidades y características del sistema. El mercado ofrece una gran variedad de bombas de agua, desde sumergibles o externas, de diferentes potencias, caudales y alturas máximas de bombeo. La decisión por el tipo de bomba dependerá de las particularidades del sistema acuapónico, esto es, número de tanques y camas o distancia entre estos.

3.4 Biofiltro

La filtración biológica se utiliza en acuicultura y Acuaponía para control del amoníaco y nitratos; en comparación con el recambio de agua. El biofiltro, es un contenedor o soporte que debe tenerlas siguientes características: ser inerte, no comprensible, y no degradable biológicamente para que tenga una máxima eficiencia en el desarrollo de bacterias

nitrificantes en la superficie de éste. Los biofiltros más utilizados tanto en acuicultura, como en Acuaponía son arena, roca molida, sedimentos de río, piedras, esponjas o bio-bolas, éstas últimas son elementos hechos de plástico o cerámico en forma de pequeños gránulos o grandes esferas o anillos, grava volcánica, redes o chips de cloruro de polivinilo (PVC), esponja o cepillo nylon, cordelería para la agricultura, etc. diseñados para ofrecer una superficie porosa considerable que permita un adecuado desarrollo y adherencia de bacterias de tal manera que pueda actuar como filtro mecánico al recoger las partículas en suspensión (FAO, 2014).

Como ya se mencionó, el biofiltro sirve de soporte para albergar las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) que convierten el amonio (molécula presente en las excretas de los peces) en nitrito y luego en nitrato. El amonio y el nitrito son perjudiciales para los peces y en altas concentraciones pueden producir la muerte, pero el nitrato es menos tóxico para los peces y más aprovechable para las plantas (TECA-FAO, 2014).

A continuación, se presenta un esquema de la nitrificación del amonio:

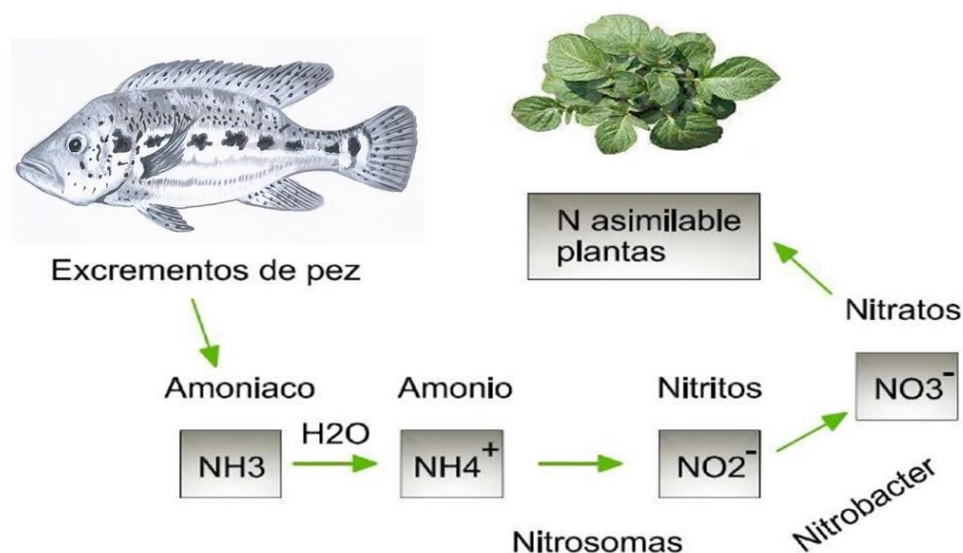


Figura 6.- Representación de las reacciones de nitrificación ocurridas en el sistema acuapónico

Fuente: <http://www.paivert.com/acuaponia-en-los-jardines-verticales/>

El amonio es un componente opcional en aquellos sistemas acuapónicos que usan camas con sustratos sólidos, pero resulta indispensable para los sistemas de raíz flotante o los de solución nutritiva recirculante (N.F.T., por sus siglas en inglés). En las camas con sustrato sólido las bacterias se adhieren al sustrato, cuanto más poroso es el sustrato mejor es la biomasa y el desempeño de las bacterias. En las regiones tropicales se recomienda el uso de materiales pétreos, como gravas o tezontle., principalmente; sin embargo, el costo y la logística de la adquisición son factores importantes para la decisión del sustrato a utilizar. Los sistemas de raíz flotante o de solución nutritiva recirculante no ofrecen suficiente

superficie para el desarrollo de las bacterias, por lo tanto, es necesario suplir este faltante de superficie con un biofiltro. En la Figura 7, se presenta un ejemplo de biofiltro de construcción sencilla con biobolas. Las biobolas pueden ser sustituidas por material poroso como piedras o esponjas.

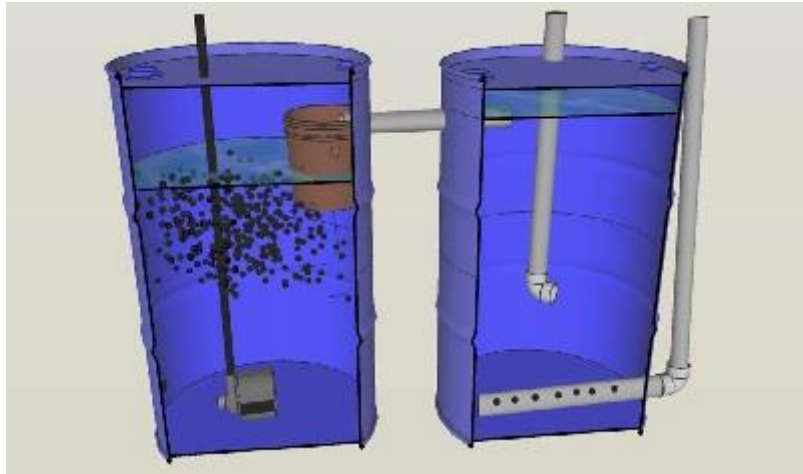


Figura 7.- Ejemplo de biofiltro.

Fuente: TECA-FAO (2014) <http://teca.fao.org/es/read/8725>.

4 TIPOS DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS

Los principales sistemas de cultivos hidropónicos utilizados en Acuaponía son: sistemas de raíz flotante, técnicas de solución nutritiva recirculante y sistema de camas con sustrato sólido. Este último es más recomendable por ser compatible con las características de la zona en la que se ubica el proyecto, por lo que es el que se buscará implementar. A continuación, se describen brevemente cada uno de los sistemas de cultivos hidropónicos empleados en Acuaponía.

4.1 Sistema de raíz flotante

Esta técnica no requiere de sustrato sólido, las raíces de las plantas permanecen en contacto con el agua que debe ser oxigenada diariamente. La oxigenación puede ser aplicada manualmente o a través de bombas de aire.

Una lámina de unicel cubre la totalidad de la superficie de la cama (Figura 8). A dicha lámina se le han practicado unos orificios para colocar las plantas que a la vez son sostenidas con esponjas.

Este sistema es utilizado en Acuaponía a mediana y larga escala y, si bien no necesita de sustrato sólido, es necesario añadirle un biofiltro. Además, de que necesitan una entrada y una salida de agua, para la recirculación de la misma (Figura 9).

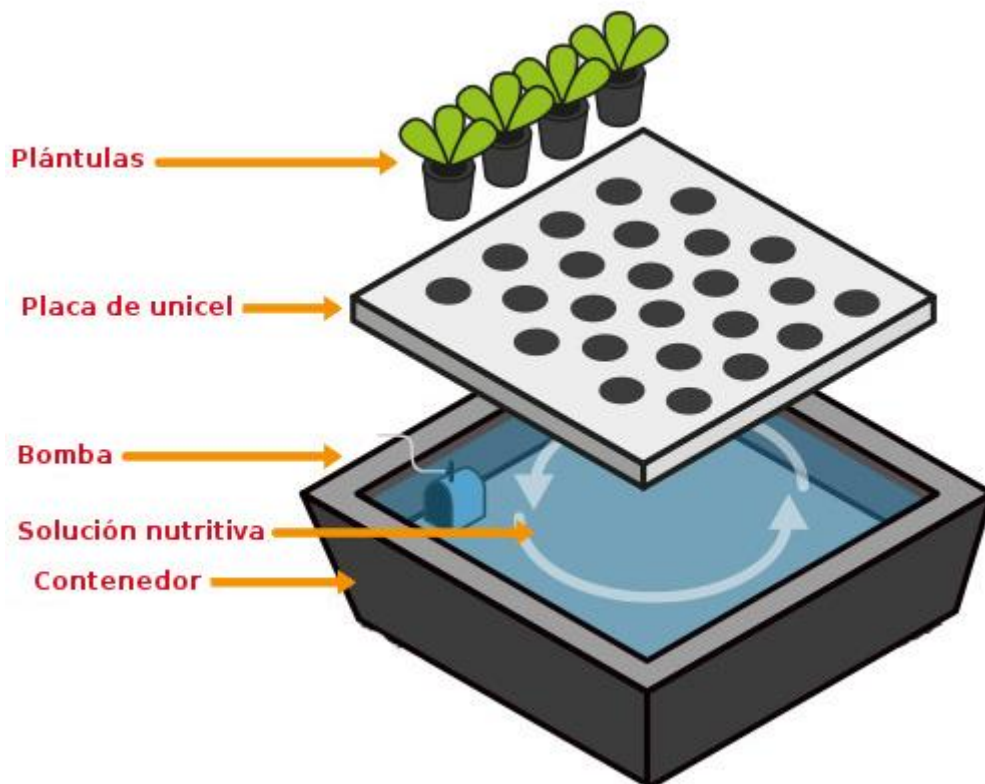


Figura 8.- Esquema del sistema de raíz flotante.
Fuente: <http://www.lamolina.edu.pe>.



Figura 9.- Sistema de raíz flotante.
Fuente: <http://www.lamolina.edu.pe>.

4.2 Sistema de solución nutritiva recirculante

Sistema de solución nutritiva recirculante también conocido como sistema NFT (del inglés Nutrient Film Technique), es el sistema de cultivo hidropónico más utilizado a nivel comercial (Figura 10 y Figura 11). En la producción a gran escala es de alta eficacia, pero al mismo tiempo es el más complejo y costoso, razones por las cuales no fue el sistema elegido para completar los objetivos de la presente consultoría. Para el correcto funcionamiento de este sistema se necesita de un tanque para almacenar la solución nutritiva, un sistema automatizado de bombeo y de un sistema de tubos interconectados a los cuales se le han realizados orificios para acomodar las plantas (Figura 12) (Alpizar, 2008).

- 1.- Tanque de cultivo de peces
- 2.- Tanque para almacenar solución nutritiva
- 3.- Biofiltros mecánicos y biológicos
- 4.- Sistema de tubos para cultivo vegetal (canaletas de cultivo con circulación continua de una capa corriente de agua enriquecida con elementos nutritivos).

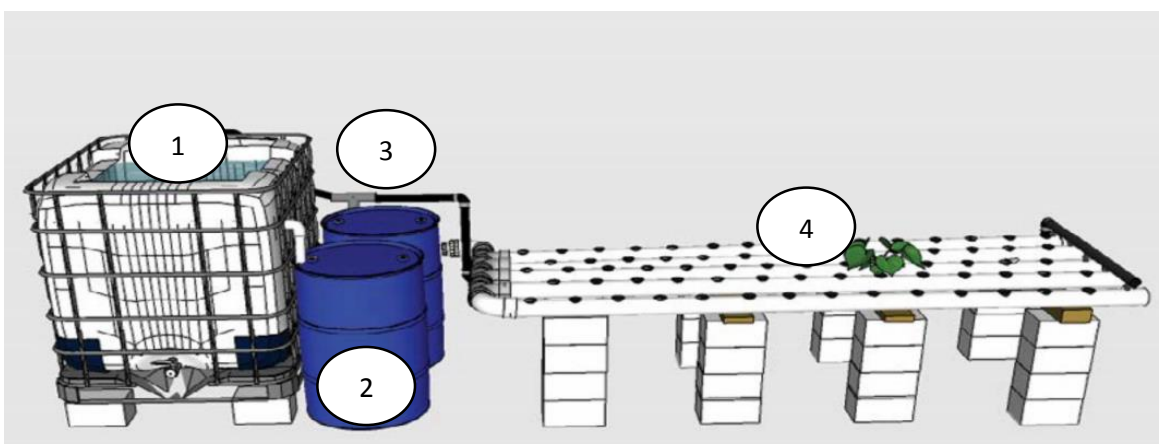


Figura 10.- Sistema de solución nutritiva recirculante o NFT (del inglés Nutrient Film Technique).

Fuente: TECA-FAO (2014) <http://teca.fao.org/es/read/8725>.

Es el único sistema hidropónico donde el agua recircula: sale del tanque, se distribuye a las plantas para luego regresar nuevamente al tanque. Para su uso como sistema acuapónico, es necesario añadir un biofiltro al igual que en el sistema de raíz flotante, porque también carece del sustrato sólido en el que pueden albergarse las bacterias nitrificadoras (Figura 11).

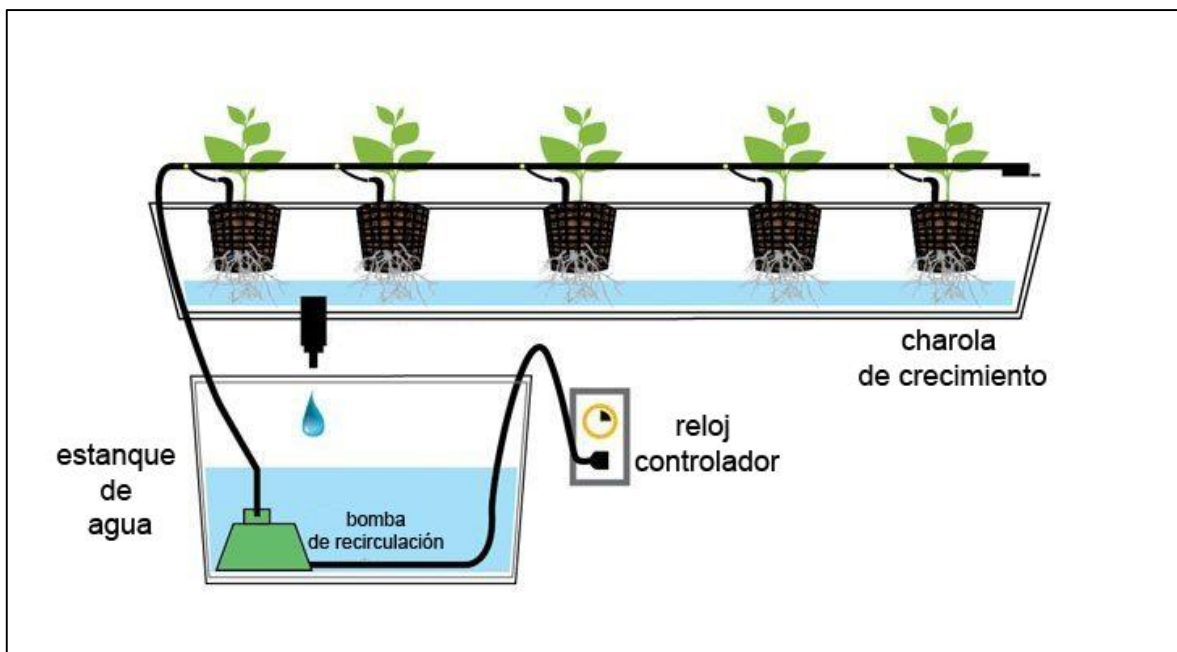


Figura 11.- Esquema del sistema NTF
Fuente: Econciencia 2017.



Figura 12.-Sistema de tubos interconectados, del sistema NTF.
Fuente: <https://www.scientificamerican.com/article/are-hydroponic-vegetables-less-nutritious/>

4.3 Sistema de camas con sustrato sólido.

En este sistema se utiliza un medio sólido (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. Además, en los sistemas acuapónicos, el sustrato poroso es el lugar donde se desarrollan las bacterias nitrificadoras. Los contenedores más utilizados en este sistema se llaman camas (Figura 13).

El sistema de camas con sustrato sólido es el sistema más utilizado en hidroponía popular y en Acuaponía. La utilización del sustrato sólido evita la necesidad de construir un biofiltro, bajando así los costos de producción.

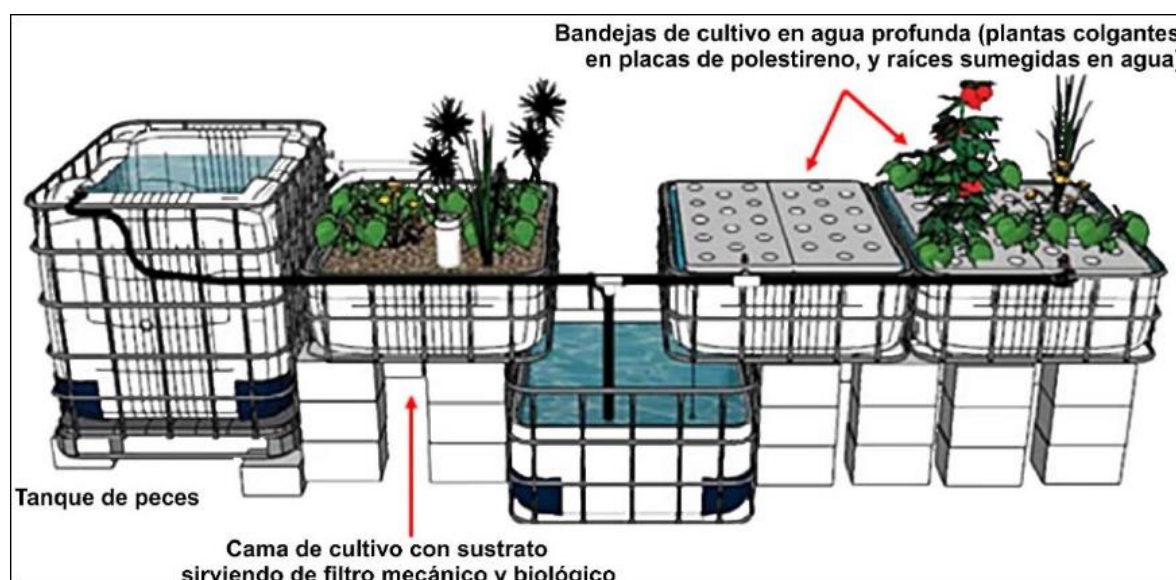


Figura 13.- Representación de una unidad de Acuaponía que consta de una cama de cultivo con sustrato.

Fuente: TECA-FAO (2014) <http://teca.fao.org/es/read/8725>.

5 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO CON EL SISTEMA DE CAMAS CON SUSTRATO SÓLIDO

El sistema de camas con sustrato sólido, es un modelo adecuado a las características del clima local y la orografía del sitio y puede ser construido con elementos de fácil accesibilidad y materiales de la región, con el fin de ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo.

Además, en los sistemas acuapónicos, el sustrato, que debe ser suficientemente poroso, es el lugar donde se desarrollan naturalmente las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.), parte muy importante del proceso. Los contenedores más utilizados en este sistema se llaman camas hidropónicas y se pueden observar en la siguiente figura ().

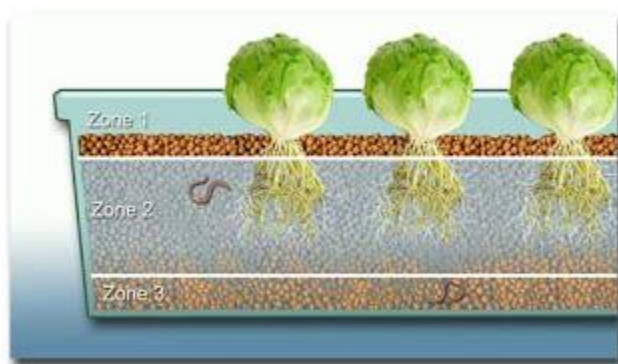


Figura 14.- Cámara hidropónica con sustrato sólido.

Fuente: <http://acuaponia-argentina.blogspot.mx/2012/02/camas-de-cultivo.html>

El sistema de camas hidropónicas con sustrato sólido es el sistema más generalizado en Acuaponía (Figura 15). La utilización de este puede evitar la necesidad de construir un biofiltro, bajando así los costos de producción, sin embargo, por seguridad, hemos incluido en el sistema un biofiltro (Figura 16) que mejorará aún más la calidad de agua salida de las camas hidropónicas para ser reintegrada a los tanques de peces.



Figura 15.- Esquema de un sistema acuapónico con camas hidropónicas. Fuente: Somerville *et al.*, 2014; TECA-FAO <http://teca.fao.org/read/8725>.

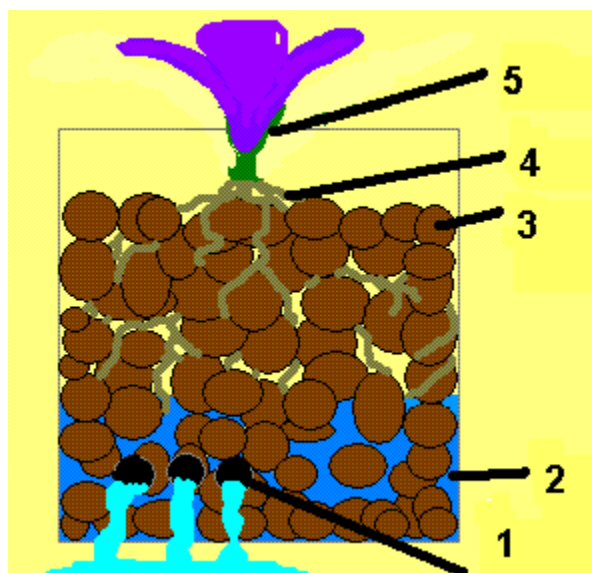


Figura 16.- Partes del cultivo: 1.- Agujeros laterales (horizontales de drenaje), 2.- Solución nutritiva, 3.- Sustrato, 4.- Sistema de raíces y 5.- Planta.
Fuente: <http://www.agroindustria.gob.ar>

A continuación, describimos el sistema acuapónico recomendado para la instalación de una granja acuícola en Andrés Quintana Roo para evitar el desecho de aguas residuales producidas por el cultivo de *P. splendida*. Este sistema se puede implementar con materiales existentes en ferreterías, depósitos de construcción, agroservicios y aserraderos (Figura 17).

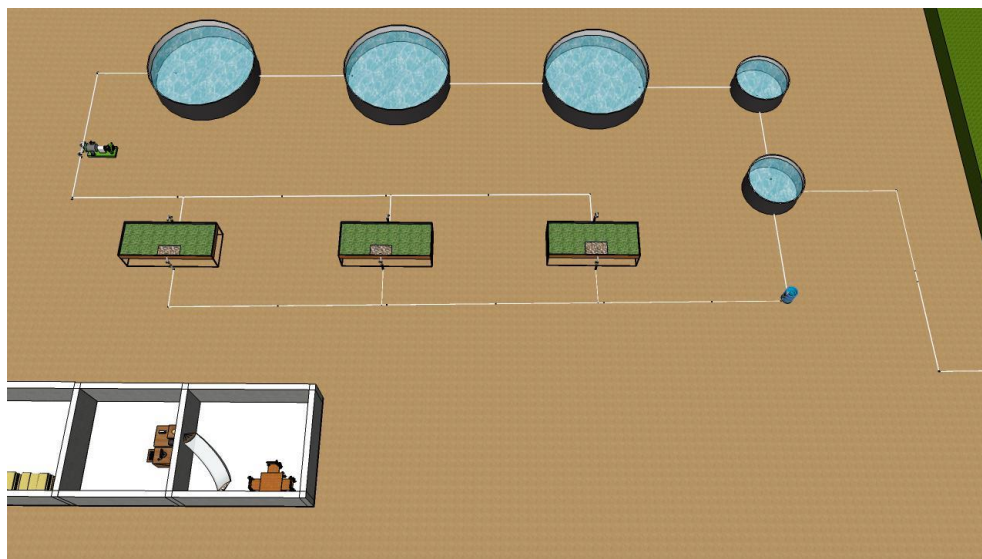


Figura 17.- Distribución de áreas granja acuícola de Andrés Quintana Roo.
Fuente: Econciencia 2017.

5.1 Tanques de agua

Las instalaciones planeadas estarán conformadas por 3 tanques de geomembrana de 6.30 m de diámetro y capacidad de 37,400 L cada uno para crecimiento y engorda y 2 tanques de geomembrana de 3.20 m de diámetro con capacidad de 9,290 L para alevines, biofiltro y un sistema de bombeo que puede ser automatizado o de encendido manual (Figura 17).

5.2 Las camas hidropónicas

Con madera de la localidad se construirán las camas hidropónicas. El espesor de la madera para construir la cama será de entre $\frac{3}{4}$ a 1 pulgada y el tamaño final de la cama de 180 centímetros de largo por 100 centímetros de ancho, con una profundidad de 15 a 25 centímetros, asentada en 4 patas de 90 a 100 centímetros de altura debiendo también utilizarse clavos o tornillos del grosor adecuado en las uniones.

Para empezar, se unen las tablas que forman el marco externo de la cama como se muestra a continuación en la Figura 18:



Figura 18.- Marco externo de la cama hidropónica.
Fuente: Econciencia 2017, Colagrosso, 2014

Terminado el marco externo, se procede a completar el fondo de la cama, colocando tablas del mismo espesor hasta cubrir el fondo de la cama, tal como se muestra en la Figura 19.



Figura 19.- Disposición de las tablas en el fondo de la cama.

Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

Una vez completado el fondo, se procede con el acople de las patas clavando de adentro hacia afuera de la cama, para evitar que las puntas de los clavos sobresalgan de la madera en el interior de la cama y causen daños al plástico que se usará para forrarla. El mismo cuidado es necesario durante toda la construcción de la cama (Figura 20).



Figura 20.- Cama hidropónica
Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

Terminada la estructura de la cama y antes de forrarla, es necesario hacer un orificio a 4-5 centímetros del fondo para la salida del agua, el cual se puede realizar con la ayuda de un taladro y una broca para madera. El diámetro de la broca y del oficio, deberá ser el mismo que el de la tubería que se utilizará para el desagüe del agua.



Figura 21.- Cama completa con orificio de salida del agua

Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

Tal y como se observa en la Figura 21, una vez construida la cama esta debe ser forrada con plástico especial, mismo que es importante para el cuidado y conservación de las camas hidropónicas. Para cumplir con las especificaciones de calidad, se recurrirá a plástico negro calibre 600, ya que ofrece el grosor y la resistencia adecuada para este tipo de proyectos: el plástico tipo salinero utilizado en hidroponía y de venta en negocios de agroservicios.

Al momento del forrado, el plástico debe ser prensado en los bordes externos utilizando para ello grapas; además se debe tener cuidado de no romper el plástico que cubre el interior de la cama y que este quede liso o aplanado, de modo que no queden pliegues en el fondo de esta que vayan a impedir el adecuado drenaje del agua.

Completada la construcción y el forrado de las camas, se procederá a posicionar estas a un lado de cada tanque de peces, para seguir luego con la instalación del sistema de tuberías

y el llenado de las camas con el sustrato, que en este caso será grava de piedra caliza, previamente lavada.

5.3 Sistema de tuberías, bomba de agua e interruptor

Las principales tuberías de un sistema acuapónico son las que transportan el agua desde los tanques de los peces a la bomba de agua, de la bomba de agua a las camas hidropónicas (entradas de agua) y de las camas nuevamente al tanque de los peces (salidas de agua).

Se utilizarán principalmente tuberías y accesorios del diámetro de 1 pulgada, porque se consiguen fácilmente como son codos, llaves de paso y otros.

La forma y el diseño de las entradas de agua se muestran en las siguientes figuras, donde se observan las llaves de paso en cada entrada de agua con el fin de regular el flujo de forma independiente en todas las camas.

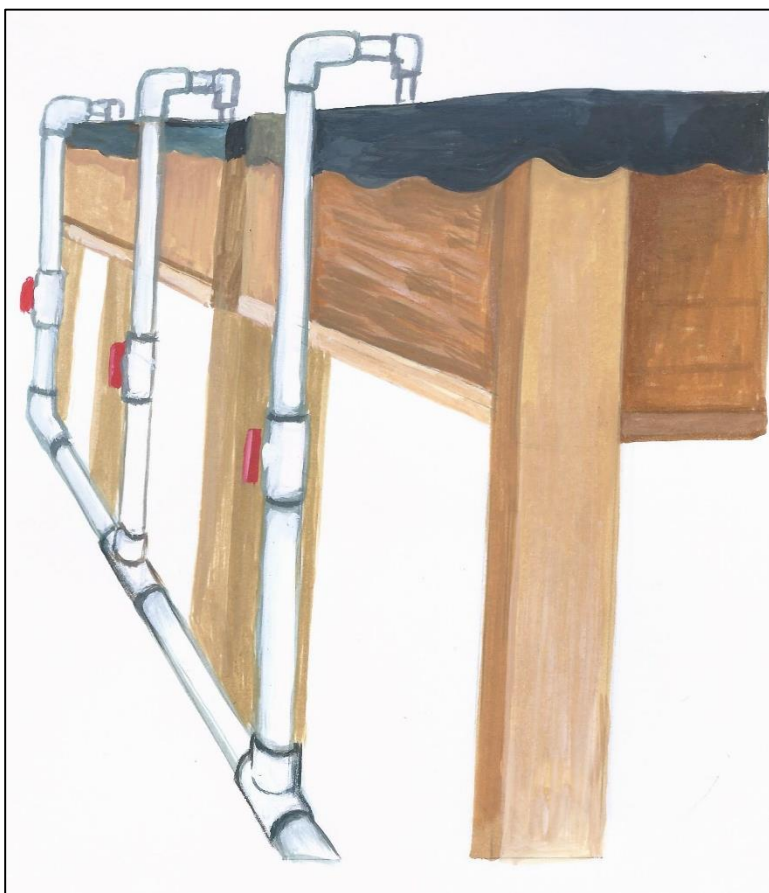


Figura 22.-Tubería del sistema hidropónico.
Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014



Figura 23.- Entrada de agua.

Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

Con respecto a las salidas de agua de las camas hidropónicas, el tubo se posiciona dentro del orificio, para ello se debe cortar el plástico lo mínimo necesario para que el tubo pase unos 5 centímetros hacia adentro (Fig.24). Luego con silicón se sella adentro y afuera de la cama.

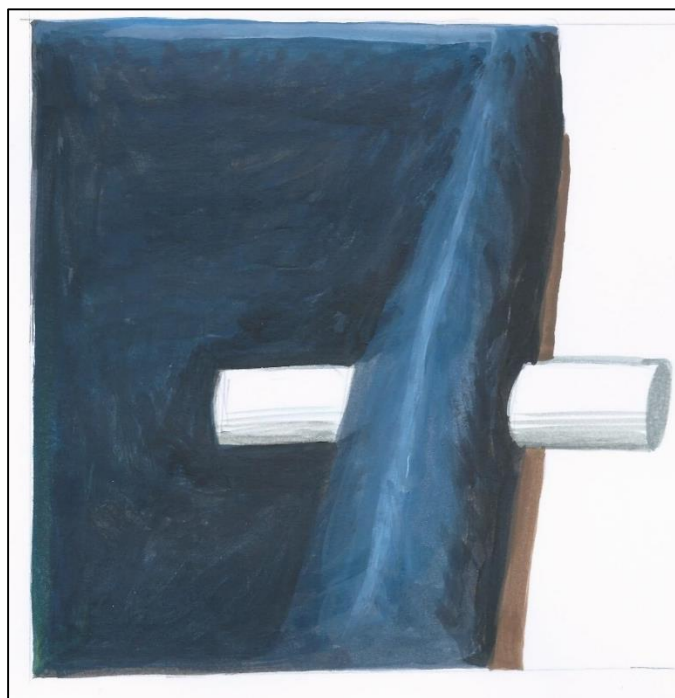


Figura 24.- Construcción de la salida de agua.

Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

La salida de agua se completa con un codo y una pieza de tubo de 2-3 centímetros de largo

colocados a lo interno de la cama para permitir el vaciado de esta, dejando solo un promedio de un centímetro de agua según se observa en las figuras siguientes.



Figura 25.- Izquierda: Salida de agua de las camas; derecha acercamiento. Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

Terminada la construcción de las tuberías se procede a conectarlas con la bomba y la bomba al temporizador en caso de querer automatizar el sistema (Fig. 26*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*).



Figura 26.- Bomba de agua
Fuente: Econciencia 2017; Colagrosso, 2014

5.4 El sustrato

Una vez concluido el montaje del sistema y conectadas todas las tuberías, se procede al llenado de las camas con el sustrato.

El sustrato es un componente importante en el sistema acuapónico, aunque no aporta elementos nutricionales, ofrece el soporte a las plantas y protección a las raíces. Además, es el lugar donde se desarrollan y adhieren naturalmente las bacterias benéficas (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.).

En este caso se trabajará con roca volcánica o grava de piedra caliza, ambos tienen la ventaja de que funcionan no solo como un sustrato estable, inerte, poroso (lo cual ofrece a las bacterias nitrificadoras mayor espacio para su colonización y una adecuada retención de humedad y nutrientes). Este tipo de materiales son baratos y relativamente fáciles de

adquirir en la zona; tiene el inconveniente de que viene con una gran cantidad de partículas finas las cuales deberán ser removidas mediante el lavado.

Una vez lavado el sustrato, este se acomoda en las camas evitando causar daño al plástico que las cubre. Sin embargo, para prevenir eventuales daños en éste, y ofrecer a las bacterias mayor superficie, se recomienda colocar sobre el plástico el material de relleno para edredones (Colagrosso, 2014).

En los sistemas acuapónicos se puede utilizar cualquier sustrato que sea poroso, inerte, estable, económico y fácil de conseguir.

Los preparados de tierras y sustratos universales más típicos que venden en el mercado contienen los siguientes elementos:

- **Turba:** restos parcialmente descompuestos del musgo “Sphagnum”.
- **Fibra de juncia:** restos antiguos, parcialmente descompuestos, de juncia, tallos y hierbas.
- **Fibra de coco:** compuesto básicamente por corteza de coco reciclada.
- **Vermiculita:** hecha a partir de roca micácea con aspecto de láminas doradas que es muy ligera.
- **Perlita:** producida a partir de roca volcánica, machacada, cribada y calentada con aspecto de pequeñas bolitas blancas ligeras.
- **Elementos calizos:** la fuente de calcio que se añade a las turbas para contrarrestar su pH ácido.

5.5 El biofiltro

Para optimizar el desempeño de la filtración mecánica y biológica del sistema se debe incluir un biofiltro, seguido de un sedimentador. El biofiltro consta de un contenedor el cual puede ser de plástico que se llena hasta la mitad de su volumen con capas del material que servirá de soporte (biofiltros) para el crecimiento de los microorganismos, de acuerdo a lo descrito en el tema 3 *“Elementos de un sistema acuapónico”*. En la se puede apreciar la estructura general de un biofiltro.

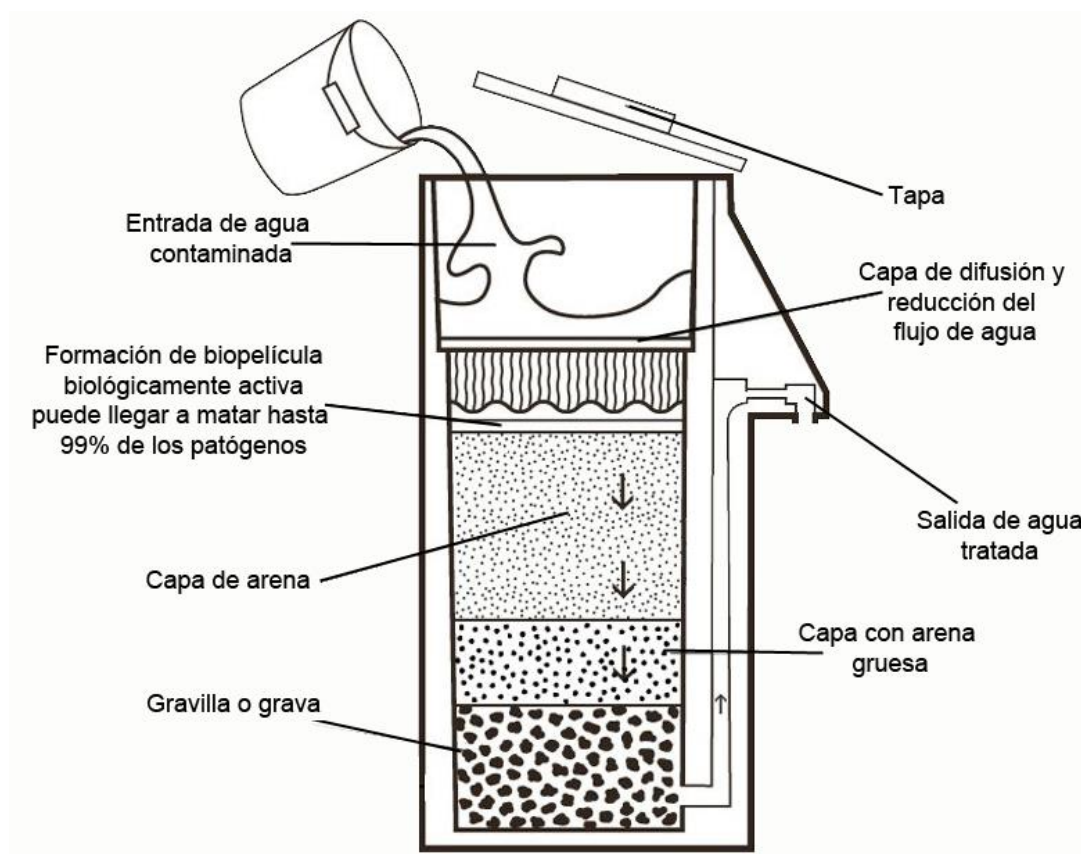


Figura 27.- Estructura general de un biofiltro.

Fuente: Modificado por Econciencia 2017.

A continuación, se describe la construcción del biofiltro de acuerdo a Colagrosso (2014):

1. Llenar hasta la mitad de su volumen con bio-bolas o con material esponjoso (Figura 28).



Figura 28.- Primera capa de bio-bolas

Fuente: Colagrosso, 2014

2. Colocar una segunda capa de Bio-bolas, manteniendo un arreglo geométrico (Figura 29).

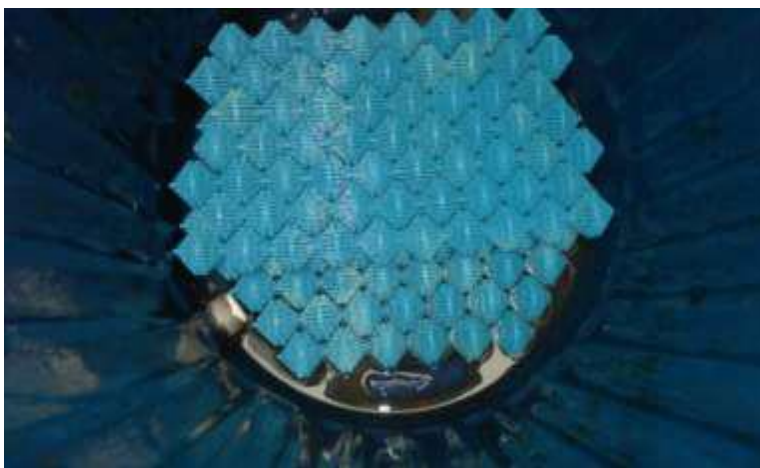


Figura 29.- Segunda capa de bio-bolas respetando un arreglo geométrico.

Fuente: Colagrosso, 2014

3. Llenar hasta la mitad del contenedor (Figura 30).



Figura 30.- Vista de las capas de bio-bolas
Fuente: Colagrosso, 2014

4. Cubrir con material esponjoso.



Figura 31.- El biofiltro con material esponjoso
Fuente: Colagrosso, 2014

La Figura 32 muestra el esquema general del biofiltro indicando las entradas y salidas del flujo de agua del mismo.



Figura 32.- Entrada y salida de agua del biofiltro.

Fuente: Colagrosso, 2014

Existe otra alternativa para construir un biofiltro con diferentes materiales, fáciles de conseguir y adecuar a las necesidades y alcances del productor. Consiste en el empleo de cubetas de 20 litros o depósitos de agua de bajo costo que pueden ser llenados con taparrosas de plástico, los cuales sustituirán a las biobolas, con estas tapas se llena hasta la mitad del depósito, posteriormente se cubre con material esponjoso, puede emplearse, huata o hule espuma.

Una alternativa más es colocar en el interior del biofiltro, distintos materiales (grava, gravilla, arena), como se muestra en la siguiente Figura 33, empleando un tambor o tambo que no haya contenido anteriormente grasas o materiales tóxicos.

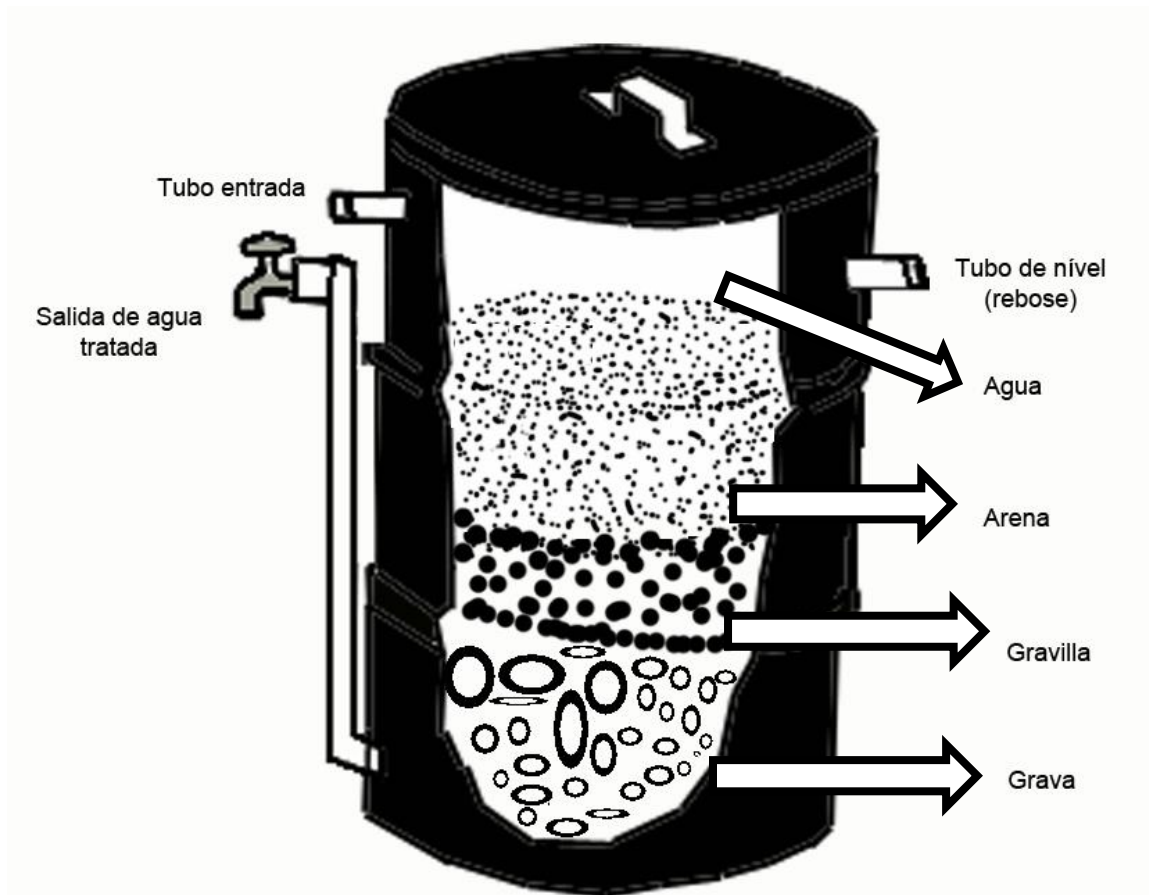


Figura 33.-Tambor empleado como biofiltro.

Fuente: Econciencia 2017.

Aquí pasará toda el agua del sistema y su función será retener los sólidos que pudieran circular con la salida de las camas hidropónicas. Por las características del filtro será fácil de observar cuando esté saturado para limpiarlo y utilizarlo de nuevo. Si existiera un exceso de sólidos generados por los peces, se añadirá otro biofiltro a la salida de los tanques, para asegurar su retención y evitar que el sistema se tape o no funcione bien.

5.6 Sedimentador

A continuación, se describe el sistema con recirculación sin recambio de agua utilizando biofiltración.

En este caso y para hacer más eficiente el sistema, se sugiere colocar un sedimentador (filtro mecánico), que atrapa el alimento no consumido y heces; estos sedimentadores, van conectados a las tinas de cultivo y sirven de filtro mecánico (Figura 34). Estos filtros contienen una capa de tubos de PVC, arena, grava, que filtran el agua y la regresan al sistema (Rubio-Cabrera, 2012).

El sistema funciona de la siguiente manera:

1. El agua es bombeada desde la tina de cultivo de peces hacia el sedimentador,
2. El sedimentador atrapa las partículas, heces, alimento no consumido y otros desechos procedentes de la tina de cultivo,
3. El agua que fue filtrada en el sedimentador pasa al biofiltro por gravedad, y a su vez, descende por una cama de arena, grava, biobolas o plásticos y esponjas,
4. El agua es filtrada y reincorporada al sistema a través de la tubería.

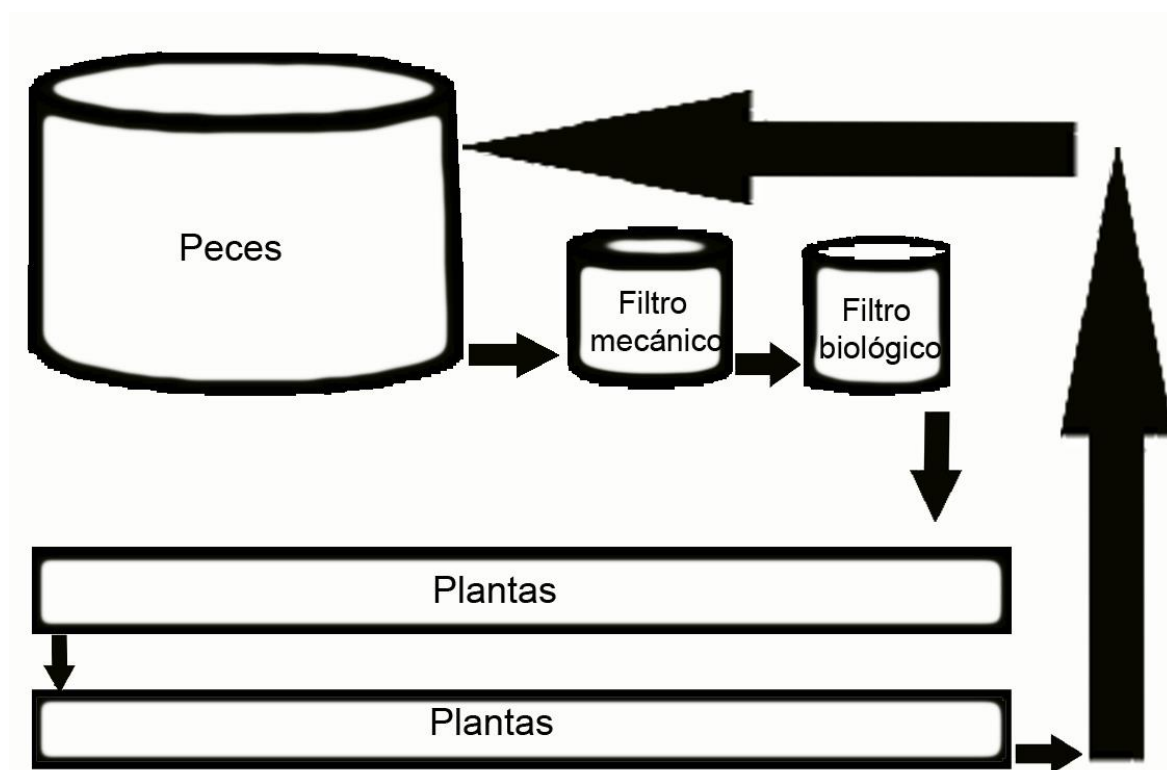


Figura 34.- Sistema con recirculación sin recambio de agua utilizando sedimentador y biofiltración.
Fuente: Econciencia, 2017.

El esquema general del sistema acuapónico con recirculación sin recambio de agua utilizando biofiltración, queda como se muestra en la Figura 34.

5.7 Activación y prueba del sistema

Manejo de un sistema acuapónico

Los peces

Los peces son los primeros organismos en entrar al sistema, sus excretas favorecen la colonización de las bacterias nitrificadoras que a su vez crean las condiciones óptimas para la siembra de las plantas. Se puede optar por peces ornamentales o comestibles. En este caso la especie seleccionada es *Petenia splendida* la cual está adaptada a la temperatura, condiciones y la calidad de agua de la zona.

Respecto a la densidad de siembra por estanque en el proyecto, esta será de 30 ejemplares por m³, para una producción semi-intensiva; así, los tanques de 6.30 metros con capacidad de 37,400 litros incluirán unos 1,110 ejemplares de *Petenia splendida* por tanque de engorda, aproximadamente 3,330 peces en total en los 3 tanques, con un peso de cosecha de 500 gr por ejemplar, lo que nos dará una producción aproximada de 1,650 kg por ciclo. El costo promedio de venta en el mercado por kilo, fresco, es de \$70.00, aumentando en época de Cuaresma y casi al doble si se le da valor agregado como ahumado o filete, lo que garantiza, como mínimo, una venta aproximada de \$115,500.00 por ciclo. Cuando se logre una producción escalonada podrá ampliarse el número de tanques y camas hidropónicas, aumentando la producción. Por ser un método nuevo, se deberán afinar algunos procesos y detalles en la práctica.

El proceso de producción da inicio con la selección de reproductores que cumplan con las características necesarias como buen peso y tamaño, libres de enfermedades, que no tengan deformaciones y de buena estructura corporal; esto con el fin de obtener alevines de buena calidad.

Debido a la dificultad de conseguir alevines de otras granjas de la zona (no existen) los peces a cultivar serán los que se obtengan de dos o tres parejas reproductivas que se tomarán de la laguna localizada en Andrés Quintana Roo. Esta laguna es cuidada por la comunidad desde hace años, en ella se encuentra variada diversidad de peces nativos y no representaría ningún impacto significativo en la población de *Petenia splendida* que habita dicho cuerpo de agua.

De acuerdo a la experiencia de algunos habitantes de la comunidad, que por sus propios medios han abierto pozas en el suelo, las cuales fueron llenadas con agua de lluvia y se les introdujeron algunos ejemplares de *Petenia splendida* en años anteriores, no se requieren

condiciones especiales para su reproducción y se han obtenido aproximadamente 1,000 alevines por camada. Así, la estimación del número de alevines obtenidos en las dos parejas, será de aproximadamente 3,000, con lo que se cubrirá la densidad pretendida en los 3 tanques de engorda.

Posteriormente, una vez eclosionados los huevecillos se espera un lapso de una semana para que las larvas terminen de alimentarse de su saco vitelino para posteriormente dar lugar al suministro de alimento de alta proteína (45%) formulado con la hormona 16-alfa-metil-testosterona para dar inicio al proceso de reversión sexual o masculinización con el fin de obtener organismos de mayor tamaño y peso. El proceso de reversión sexual se hará de la siguiente forma:

Se utilizará 1 kilogramo de alimento balanceado con 45% de proteína en forma de harina y se homogenizará con una solución de 60mg de hormona y 250 ml de etanol o alcohol etílico puro de caña. Finalmente, se le agregara 750 ml de agua. Posteriormente la masa obtenida se deposita en un horno donde se deja de 4-6 horas a una temperatura constante de 70-80°C para evaporar la humedad y el etanol.

Las recomendaciones en un sistema acuapónico para la alimentación de los peces son las siguientes:

1. La fase de crecimiento 1, se inicia desde la siembra de los organismos en los estanques, los cuales deberán tener un peso aproximado de 50 gr y durante 5 semanas, la alimentación se da mediante el suministro del 4% de la biomasa total del estanque, obteniéndose un aumento promedio en peso del 350%.
2. La fase de crecimiento 2, se realiza desde la semana 5 hasta la 8, aquí se les suministra alimento por el 3% de la biomasa total, lo que al final de este periodo se espera que los organismos alcancen un peso promedio de 200 g.
3. La fase de crecimiento 3, conlleva un cambio en el suministro del alimento a una razón del 2% del total de la biomasa existente, y se obtienen, después de 4 semanas, organismos cuyo peso promedio es de 250 g.
4. La fase de engorda 1, se refiere al proceso de alimentación de 4 semanas donde solo se le suministra alimento por el 1.5% de la biomasa total existente, con eso se espera que al final de esta fase se obtengan organismos cuyo peso promedio sea de 350 g.

5. La última fase engorda 2, se desarrolla durante 5 semanas, periodo durante el cual se suministra alimento por tan solo el 1 % de la biomasa total, sin embargo, transcurrido este periodo de tiempo los organismos habrán adquirido el peso promedio final esperado de 400-500 g.

Es importante durante todo el proceso de nacimiento y engorda realizar un 10% de recambio de agua diario, para garantizar la sanidad del cultivo y por ende asegurar la supervivencia y el crecimiento.

Las bacterias y la calidad del agua

Las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) se encuentran libremente en la naturaleza y son las encargadas de colonizar los sustratos del biofiltro y de las camas hidropónicas en forma natural.

En un sistema acuapónico se puede detectar la presencia de esas bacterias, o mejor dicho su actividad, a través de un análisis del agua. Una vez liberados los peces en el tanque, las excretas que ellos producen aumentan el nivel de amonio, siendo las bacterias *Nitrosomonas* sp. las primeras en colonizar el sistema y las encargadas de transformar el amonio en nitrito.

En tiendas especializadas se pueden conseguir los kits para realizar el análisis de agua. Los parámetros más importantes a medir, además de la temperatura, son el pH, los nitritos, los nitratos y el amonio. Para realizar la medición de los parámetros indicados, se extrae agua del tanque de los peces con la ayuda de la pipeta y con esta se llena un tubo de ensayo. La cantidad de agua que se debe echar en el tubo puede estar especificada en las instrucciones o algunos tubos de ensayo traen marcada una línea que indica el límite de agua necesaria. Luego se aplican las gotas de solución en la cantidad que indica el envase, se agita y se compara el color obtenido con la tabla de colores.

Se recomienda analizar el agua una vez por semana y llevar un registro de los datos obtenidos, los cuales se pueden graficar en una hoja de Excel y tener una mejor lectura e interpretación de las condiciones físicoquímicas del agua.

Un biofiltro se dice maduro cuando los niveles de amonio y nitritos son bajos y se dispara el nivel de los nitratos, este es el momento para sembrar las plantas. Grande & Luna (2010) consideran una concentración de nitratos de 40 ppm para sembrar.

Las hortalizas

Las hortalizas más comunes que se siembran en la región son lechuga, cilantro, rábano y cebolla, razón por la cual fueron seleccionadas para el presente plan de producción acuapónica.

Terminada la construcción del sistema se activa la bomba o el interruptor para comprobar su correcto funcionamiento. La activación del sistema permite detectar eventuales fugas de agua en las tuberías o en el plástico de las camas, medir los tiempos de llenado y vaciado de las camas, entre otros.

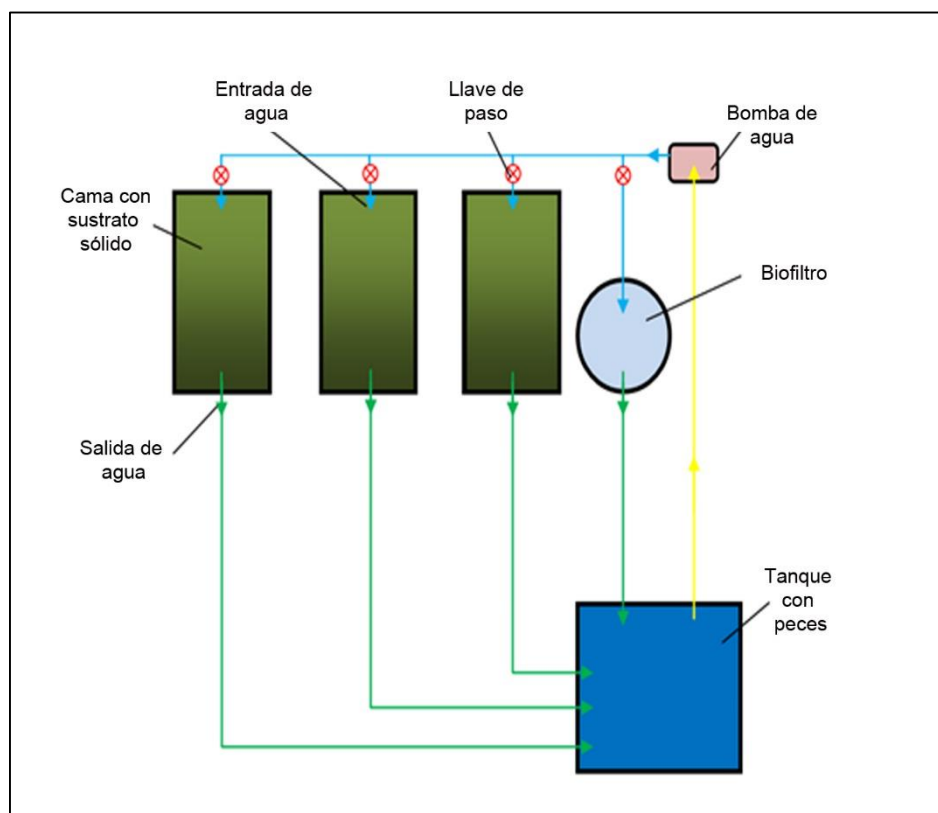


Figura 35.- Flujos de agua en el sistema Acuapónico.

Fuente: Colagrosso, 2014

Los flujos de agua se muestran en la Figura 35, en el cual al activarse la bomba, el agua es dirigida desde el tanque de los peces hasta la bomba (línea amarilla). Luego la bomba distribuye el agua a las camas y al biofiltro (líneas azules) y con las llaves de paso, se puede regular el caudal de agua en las entradas. Al pasar a través de las camas y del biofiltro, el agua es filtrada y luego devuelta nuevamente al tanque de los peces (líneas verdes). (Las líneas de color representan las tuberías y las flechas indican la dirección del flujo de agua).

6 TENGUAYACA (*Petenia splendida*)

Los peces son los primeros organismos en entrar al sistema, sus excretas favorecen la colonización de las bacterias nitrificadoras que, a su vez, crean las condiciones óptimas para la siembra de las plantas. Se puede optar por peces ornamentales o comestibles. En este caso la especie seleccionada es la tenguayaca (*Petenia splendida*) la cual está adaptada a la temperatura, condiciones y la calidad de agua de la zona.

6.1 Descripción de la especie

Tenguayaca (*Petenia splendida*) (Günther 1862)

La tenguayaca, tenhuayaca, también conocida como bocona cuyo nombre científico es *Petenia splendida* determinado por Günther en 1862 (García, 2003). Es un pez cíclido neotropical (Figura 36). El nombre científico de esta especie, "*Petenia splendida*", procede de "*Petenia*" por el Lago Petén Itzá donde fue descubierto y "*splendida*", por espléndido, magnífico, que es admirable, bello, hermoso. Es un pez depredador activo con agresividad moderada, caracterizado por poseer una gran boca protráctil que puede abrirse y extenderse para capturar peces de gran tamaño (Waltzek & Wainwright, 2003).

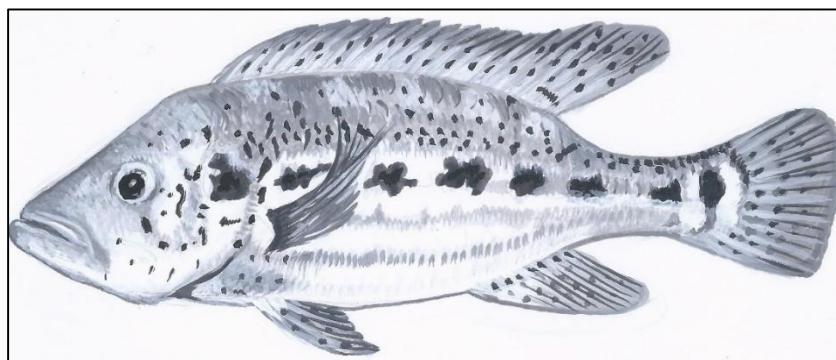


Figura 36.- Pez tenguayaca, tenhuayaca, o bocona cuyo nombre científico es *Petenia splendida* (Günther, 1862
Fuente: Dibujo de Armando Jiménez.

6.2 Taxonomía

Animales: Reino Animalia

Cordados: Filo Chordata

Vertebrados: Subfilo Vertebrata

Peces con aletas radiadas: Clase Actinopterygii

Percas y parientes: Orden Perciformes

Mojarras, tilapias y parientes: Familia Cichlidae

Subfamilia: Cichlasomatinae

Género: *Petenia*

Tenguayaca: *Petenia splendida*

6.3 Distribución geográfica

Vertiente del Atlántico, de la cuenca del río Grijalva a la del río Usumacinta y del río Belice, en el sur de México, península de Yucatán, norte de Guatemala y Belice. Fue introducida en la Presa Miguel Alemán, Oaxaca (Juárez-Eusebio, 2005). Al norte de Guatemala, Centro América (16°54'00" N-89°41'41" W), se ubica el Lago Petén Itzá, el cual forma parte de la Reserva de la Biosfera Maya. El pez blanco *Petenia splendida*, nativo de la familia de los cíclidos está ampliamente distribuido en ríos, lagunas y en el lago Petén Itzá. En el sureste de México y Belice se encontraron datos representativos de la especie en la Guía de peces del Río Lacanjá, Selva Lacandona, Chiapas, México (Domínguez & Rodiles, 1998). Esta especie se encuentra en Centroamérica en la vertiente atlántica desde el río Grijalva hasta el río Usumacinta (México, Guatemala y Belice).

6.4 Aspectos biológicos

Ejemplares de esta especie presentan una coloración dorada, en el dorso más oscura y en el vientre más clara. A los lados sobresalen 9 manchas oscuras colocadas a lo largo del cuerpo, la primera sobre el opérculo branquial y la última en la base de la aleta caudal. Esta mancha sobresale de las demás por su mayor tamaño y colorido. La dentición es viliforme, es decir, los dientes tienen forma de pelos cortos; además presenta una serie longitudinal de 38 a 45 escamas. La forma del cuerpo es ligeramente alargada especialmente en los machos. Alcanzan una talla de 37 a 40 cm, con un kilo y medio de peso aproximadamente. En cautiverio el canibalismo (se comen unos a otros) se presenta con mucha frecuencia (Juárez-Eusebio, 2005).

Siendo una especie que soporta las siguientes condiciones:

- bajas concentraciones de oxígeno disuelto (desde 1.6 mg/L),
- altas concentraciones de amonio (0.55 mg/L)
- capacidad para soportar variaciones de temperatura (de 24 a 27°C)

Se muestra como excelente candidato para su cultivo al ser fácil de domesticar y mantener en cautiverio (Álvarez-González *et al.*, 2008).

6.5 Reproducción

Generalmente ponen sus huevos adheridos a superficies sólidas y tersas, para lo cual son útiles las mismas paredes del tanque, se reproduce sobre sustrato, con cuidado de la progenie. En la reproducción, la talla mínima de maduración sexual que se tiene registrada para la *P. splendida* es de 16.5 cm de longitud. Las hembras desovan cerca de 1,000 huevos, aunque este número varía de acuerdo al peso de la hembra, los huevos tardan en eclosionar 5 días con temperaturas próximas a 28 °C. Es un pez de reproducción precoz y capaz de reproducirse durante todo el año, su periodo de desove comprende de marzo hasta el mes de noviembre (Ixquiac-Cabrera, 2010).

6.6 Desarrollo

Alevines, organismos recién eclosionados hasta de 3 semanas de edad.

Con respecto a la fisiología digestiva en larvas de peces, ocurre a partir del momento de la eclosión de los embriones, el sistema digestivo está compuesto de un tubo recto indiferenciado; al finalizar la absorción del saco vitelino y el glóbulo de aceite, el tubo se segmenta dando paso a la aparición de válvulas musculares, la bucofaringe y las porciones anterior, media y posterior que paulatinamente se irán diferenciando histológicamente y funcionalmente (Govoni, Boehlert & Watanabe, 1986; Uscanga-Martinez, 2012). *P. splendida* alcanza tamaños comerciales de 250-300 g en aproximadamente un año y medio cuando se alimenta con truchas comerciales. Para mejorar el cultivo de esta especie es necesario desarrollar una alimentación balanceada para cubrir adecuadamente sus requerimientos nutricionales. La proteína es el principal nutriente para el crecimiento muscular, así como para otras funciones biológicas importantes tales como estructural, de transporte y de regulación (Uscanga-Martínez *et al.*, 2012). Además, proporcionar concentraciones adecuadas de nutrientes y también aspectos de digestibilidad contribuye a reducir los costos de producción.

6.7 Importancia en la acuicultura y en pesquerías

La tenguayaca se pesca fácilmente con carnada viva o con anzuelo; los pescadores capturan importantes volúmenes de esta mojarra con el empleo de redes agalleras. El chinchorro es un arte de pesca que se emplea con eficiencia para capturarla.

En cuanto a su biología y cultivo se ha logrado avanzar en aspectos tales como nutrición, fotoperíodo, desarrollo embrionario, temperatura preferencial, proporción sexual y evaluación de densidades óptimas para el larvicultivo, entre otros (Vidal-López *et al.*, 2009). Las experiencias de años de investigación han permitido que en la actualidad se produzcan crías de manera comercial para su engorda en diferentes sistemas de cultivo. Sin embargo, un problema importante para el cultivo de esta especie, es que durante su periodo larvario no acepta fácilmente el alimento artificial (alimento micropelletizado), razón por la cual se usan presas vivas (nauplios de *Artemia* sp.) para alimentar las larvas durante los primeros días de vida (Vidal-López *et al.*, 2009).

Es una especie sincrónica, con un intervalo de madurez entre puestas de 25 a 45 días. La mejor porción por parejas reportado por Pérez-Vega *et al.* (2006) es de 4 por tina. Se presenta un cuidado de la progenie biparental, es decir el macho ataca al intruso. Se tiene la mayor sobrevivencia al separar las crías de los padres después de que inician el nado. Después de la reabsorción del saco vitelino, las crías aceptan alimento vivo (*Artemia* sp.).

Cultivo de juveniles

El cultivo de juveniles se realiza con peces que han alcanzado un peso promedio de 3 gramos. Los peces se colocan en los sistemas de recirculación, se sugiere colocar 30 peces por tina (70 l) para iniciar el proceso de adaptación. En esta etapa pueden ser alimentados con alimento comercial para truchas. Se sugiere que la alimentación sea suministrada tres veces al día (8:00, 14:00 y 20:00 horas) (Álvarez-González *et al.*, 2008).

Cultivo de adultos

A partir de que han alcanzado un peso promedio de 60 gramos por adulto, se calcula introducir 30 ejemplares de 400-500g c/u adulto por tanque, debido a que los sistemas Acupónico soportan máximo unos 15 kg/m³; así, los tanques de 6.30 m, con capacidad de 37,400 l, incluirán unos 1110 ejemplares de *P. splendida* por tanque de engorda, se contará con 3 tanques en los que aproximadamente se introducirán 3,330 peces en total, con un peso de cosecha aproximado de hasta 500 g por ejemplar. Esto nos dará una producción aproximada de 1,650 kg por ciclo, cada ciclo durará entre 8 y 12 meses (FAO, 2003). De los cíclidos nativos, la Tenguayaca es la especie más competitiva comercialmente (Álvarez-González, 2008). Tiene una gran aceptación en los mercados locales y regionales y alcanza tallas de hasta 40 cm y un peso máximo de 1500 g (Uscanga-Martínez, 2012).

7 LAS BACTERIAS

Como ya se mencionó anteriormente, las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) se encuentran libremente en la naturaleza y son las encargadas de colonizar los sustratos del biofiltro () y de las camas hidropónicas en forma natural. En un sistema acuapónico, *Nitrosomonas* sp. coloniza el sistema y transforma el amonio en nitrito. De esta forma, la concentración de amonio tiende a bajar y aumenta el nivel de nitritos; en este punto comienzan a aparecer las bacterias *Nitrobacter* sp. que transforman los nitritos en nitratos (Figura 37). Para monitorear el sistema es necesario medir y registrar en una bitácora, de manera semanal, el análisis de la calidad del agua (incluyendo temperatura, pH, nitritos, nitratos y amonio) (Somerville *et al.*, 2014). Se recomienda que la temperatura y pH, en la medida de lo posible, se mida diario; los demás parámetros se recomiendan que se midan semanalmente. En la Tabla 1, se muestran algunos de las variables ideales relacionadas con las bacterias en los sistemas acuapónicos.

Tabla 1.- Tolerancia de las bacterias nitrificantes a diferentes parámetros de calidad del agua.

Temperatura °C	pH	Amonio NH ₄ (mg L ⁻¹)	Nitrito NO ₂ (mg L ⁻¹)	Nitrato NO ₃ (mg L ⁻¹)	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)
17-34	6-8.5	>3	>3	>400	4-8

Basado en Somerville *et al.*, 2014.

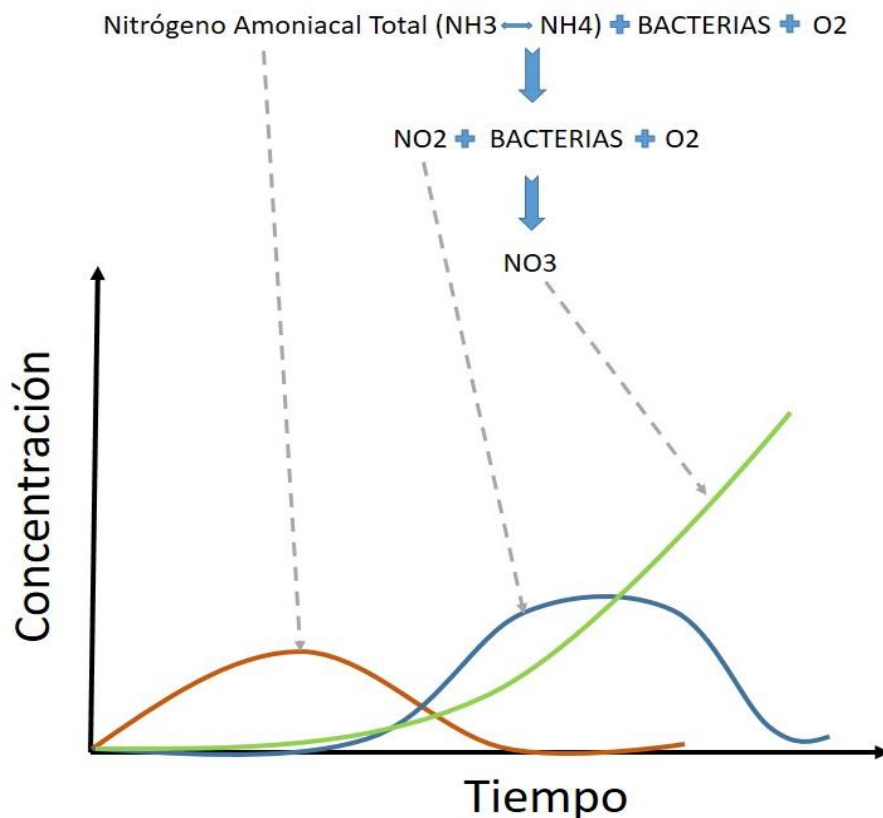


Figura 37.- Compuestos nitrogenados durante las primeras semanas en un sistema de recirculación de acuicultura, también llamado maduración de biofiltro o formación de colonia bacteriana.

Fuente: Somerville *et al.*, 2014.

8 LAS PLANTAS (organismos vegetales)

Las plantas son los últimos organismos que entran en un sistema acuapónico. Se pueden escoger entre una amplia variedad de hortalizas, hierbas aromáticas y ornamentales. Ya se mencionó que en este caso se propone la producción lechuga, cilantro, rábano y chile habanero como cultivos iniciales.

9 RUTINAS DIARIAS Y SEMANALES

El agua es el elemento vital de un sistema de Acuaponía. Es el medio a través del cual se transportan todos los nutrientes esenciales a las plantas y donde viven los peces. Hay tres parámetros de calidad del agua importantes que hay que seguir y controlar: oxígeno disuelto (5 mg/litro), pH (6-7), temperatura (18-30° C) (FAO, 2003).

Las principales rutinas que se llevarán diariamente, para el manejo y control del sistema, serán las siguientes:

- Alimentación de los peces
- Remoción de peces, enfermos, heridos, muertos
- Control del nivel del agua y llenado del faltante (Evaporación, manejo del sistema, fuga momentánea, absorción vegetal)
- Control de fugas en las tuberías
- Control de las entradas y salidas del agua, para verificar el normal flujo de agua y que no se presentaran obstrucciones
- Observación minuciosa de las plantas para descartar la presencia de plagas o enfermedades
- Remoción de hojas enfermas
- Control de pérdidas de agua en las camas

Las rutinas semanales se basan principalmente en la medición de la temperatura y del análisis de la calidad del agua mediante el uso de un kit colorimétrico (Colagrosso, 2014).

Si los niveles de amonio y nitritos son superiores a los tolerados por *P. splendida* (0.55 mg/litro), se recomienda cambiar parcialmente el agua (cerca de un 20%), aumentar el tiempo de bombeo, disminuir la dosis de alimento de los peces e incrementar el número de plantas en las camas.

10 MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN UN CULTIVO ACUAPÓNICO

Manejo de plagas y enfermedades en las plantas

El control de plagas y enfermedades existentes en un cultivo acuapónico, siempre es un tema importante que tratar y que requiere de especial atención. Ello es debido a que no pueden utilizarse pesticidas tradicionales, ya que se correría el riesgo de producir la muerte de los peces. Es por esto, que todos los métodos de control y cura de las plagas o las enfermedades deberán ser de carácter orgánico (Arriaza & Martínez, 2009).

Algunas de las recomendaciones para tener en cuenta para un manejo integral de plagas:

- Tener un plan de manejo previo a la aparición de problemas
- Revisar periódicamente las plantaciones en busca de plagas o síntomas
- Llevar registros
- Elegir variedades de plantas resistentes
- Mantener acciones preventivas para plagas conocidas
- Utilizar más de un método de control

El productor deberá ser capaz de identificar cuáles son los organismos causantes de problemas, como así también, cuáles son sus síntomas. Una vez identificado el problema, este deberá ser tratado inmediatamente.

Las hortalizas son un cultivo agrícola muy difundido en todo el mundo y las modalidades de producción son variadas, puede ser intensiva o extensiva, en monocultivo o en policultivo, para el autoconsumo o para fines comerciales (Arriaza & Martínez, 2009).

Como todo cultivo agrícola, las hortalizas están sujetas al ataque de plagas y enfermedades, las cuales comprometen el nivel de producción.

Las enfermedades que afectan las plantas pueden ser de origen abiótico o biótico. Las primeras dependen principalmente de la ausencia, escasez o exceso de uno o más factores de crecimiento, como por ejemplo los nutrientes el agua y la temperatura; y los daños se manifiestan con síntomas visibles como son la pudrición, descoloración (clorosis), muertes de tejidos (necrosis), coloración de las hojas diferentes de la normal y otros.

El marchitamiento fúngico (damping-off) de pre-aparición generalmente es causado por la invasión al hospedero del hongo antes de la aparición de la planta en el suelo. Esto se debe a las condiciones que inhiben o enlentecen la germinación de la semilla, mientras que permite crecer al patógeno. El brote posterior del marchitamiento fúngico se produce en plántulas jóvenes al nivel del suelo o cerca de él, Los tallos infectados pueden tener un diámetro más pequeño que lo normal (Figura 38).



Figura 38.- Marchitamiento fúngico (damping-off), caracterizado por un adelgazamiento en el tallo.
Fuente: Conciencia 2017, Armando Jiménez.

Las enfermedades bióticas son causadas por organismos como lo son los virus, los hongos, las bacterias. Los síntomas y las manifestaciones de estos patógenos en las plantas son muy variados, pueden ser manchas en el tallo o en las hojas, pudrición de raíces y otros.

Las plagas son organismos, principalmente insectos, que ocasionan pérdidas económicas en los cultivos agrícolas.

Existen múltiples problemas asociados al abuso de agroquímicos tales como los impactos negativos en la salud y en el ambiente, como el desarrollo de resistencia en patógenos de plantas y plagas, entre otros.

El manejo integrado de plagas y enfermedades en general, y los biopesticidas en particular, constituyen una alternativa al uso de los agroquímicos, garantizando a la vez la obtención de hortalizas sanas y seguras como la sobrevivencia de los peces. En los cultivos acuapónicos no se pueden utilizar pesticidas y fungicidas de origen químico porque son altamente tóxicos para los peces, por lo que deben considerarse otras opciones como el manejo integrado de plagas y enfermedades (Arriaza & Martínez, 2009).



Figura 39.- Círculos concéntricos de necrosis en hoja producido por *Alternaria solani*.
Fuente: <https://www.agrohuerto.com/berenjenaplagas-y-enfermedades-comunes/>

El manejo integrado de plagas y enfermedades es un conjunto de técnicas utilizadas para reducir los ataques de las plagas y las enfermedades que afectan los cultivos. Estas técnicas no son excluyentes entre sí, o sea, se pueden aplicar al mismo tiempo y al mismo cultivo. Las principales técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades, compatibles con los cultivos acuapónicos son las siguientes:

Control Cultural

Es la aplicación o modificación de las prácticas agrícolas para prevenir la aparición de plagas o enfermedades en los cultivos.

La rotación de los cultivos es una práctica de control cultural que tiene como objetivo alternar en el tiempo los tipos de hortalizas sembradas en un determinado lugar, para evitar la atracción de enfermedades que se pueden generar por tenerse solamente plantas pertenecientes a la misma familia.

El policultivo es también parte del control cultural y consiste en sembrar diferentes tipos de hortalizas en un mismo lugar o en la misma cama.

Control Mecánico

Consiste en recolectar manualmente y destruir las partes de la planta afectada por una plaga o enfermedad. Esta práctica se le conoce también como poda sanitaria y se recomienda realizarla diariamente.

Control Biológico

Es el uso de los enemigos naturales de las plagas y los agentes causantes de las enfermedades de los cultivos. Con este tipo de control, se liberan en las áreas en cultivo insectos entomófagos, insectos parásitos, hongos entomopatógenos y hongos antagonistas. También los extractos naturales con capacidad de controlar las plagas y enfermedades son parte del combate biológico. Los hongos entomopatógenos y los extractos naturales reciben el nombre de biopesticidas. Entre los hongos antagonistas cabe destacar *Trichoderma* sp.

Control de enfermedades de los peces

Las variaciones bruscas de temperatura, calidad de agua y alimentación provocan estrés en los peces y los hacen más vulnerables a las enfermedades.

Una forma de contrarrestar las enfermedades de los peces, provocadas por hongos, consiste en aplicar 0.5 gramos por litro de sal de ganadería y aumentar la temperatura del agua según las exigencias de los peces cultivados.

11 PROCESOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y/O BIOLÓGICOS A REALIZAR SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES

Como se menciona en la descripción de sistema acuapónico, no habrá aguas residuales; los procesos físicos que se darán a las aguas del sistema serán a través del o los biofiltros y la circulación del agua por las camas hidropónicas.

En cuanto a los procesos bioquímicos será a través de la absorción de los elementos contenidos en el agua por medio de las raíces vegetales y la acción de las bacterias nitrificadoras.

11.1 Manejo que se dará a los lodos generados

La generación de lodos en un sistema acuícola está supeditada a la densidad y peso de los ejemplares que se manejen. En este caso, la densidad será de 30 peces por m³, que al final del ciclo deberán pesar aproximadamente 500 gr c/u. Con esta densidad el funcionamiento del o los biofiltros, así como la recirculación constante del agua por las camas hidropónicas, generará una cantidad manejable de lodos en el sistema.

Si se cambiara a una producción intensiva, que no es el caso, se utilizaría y anexaría al sistema un Clarificador o Separador de Sólidos como el que se presenta a continuación, donde los sólidos más gruesos se depositan en el cono del sistema, para ser canalizados por un tubo de PVC, para posteriormente ser depositados en un tanque de 200 l, secados al ambiente y reutilizados como abono.

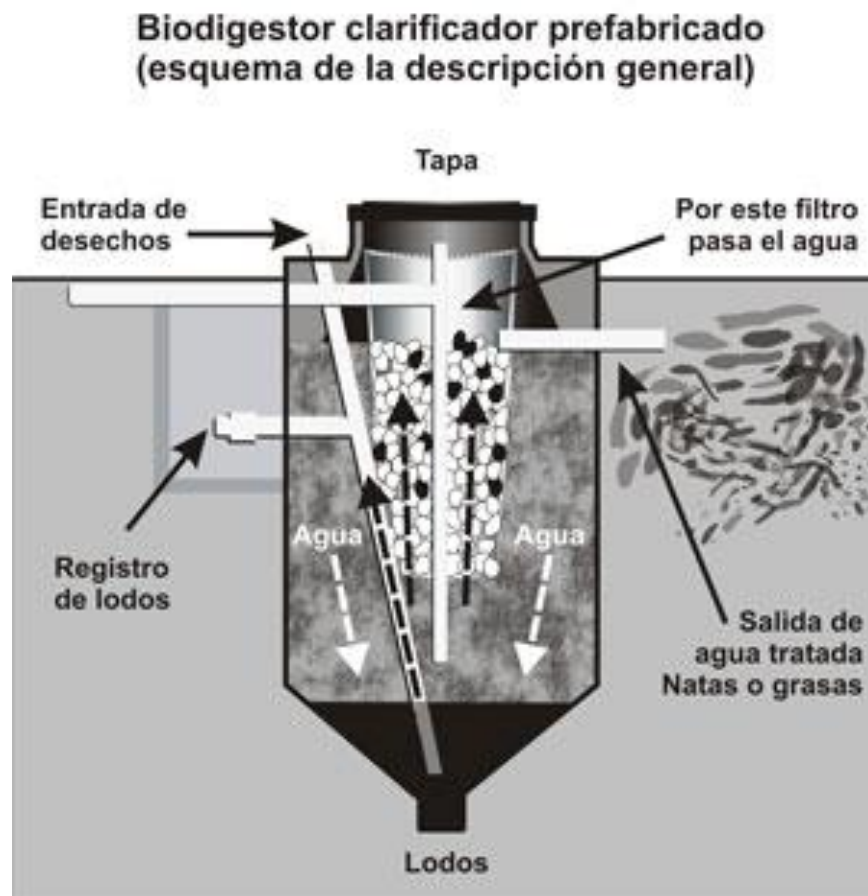


Figura 40.- Biodigestor clarificador

Fuente: Guía de Orientación en Saneamiento básico

http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-4sas.htm#2.4_Principales_sistemas_rurales_de_saneamiento

11.2 Manejo de materiales de deshecho

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2012.

Sitio de disposición final de los lodos generados atendiendo lo establecido en la Norma Oficial Mexicana

En este sentido, la Norma Oficial Mexicana dice:

Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger al medio ambiente y la salud humana.

Campo de aplicación

Es de observancia obligatoria para todas las personas físicas y morales que generen lodos y **biosólidos** provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Aguas residuales

Almacenamiento

Acción de mantener en un sitio los lodos y **biosólidos**, hasta su aprovechamiento o disposición final.

Aprovechamiento

Es el uso de los **biosólidos** como mejoradores o acondicionadores de los suelos por su contenido de materia orgánica y nutriente o en cualquier actividad que represente un beneficio.

Biosólidos

Lodos que han sido sometidos a procesos de estabilización y que, por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, puedan ser susceptibles de aprovechamiento.

Disposición final

La acción de depositar de manera permanente lodos y **biosólidos** en sitios autorizados.

Estabilización

Son los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final para evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente.

Límite máximo permisible

Valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido por los lodos y **biosólidos** para que puedan ser dispuestos o aprovechados.

De acuerdo a esta Norma Oficial Mexicana, los lodos generados en este sistema acuapónico están clasificados como biosólidos.

El numeral 3.19 nos indica que “puede utilizarse la aplicación de los biosólidos en terrenos para mejorar sus características físicas, químicas o microbiológicas.

De la misma manera el numeral 3.3 se refiere a su Aprovechamiento:

“Es el uso de los **biosólidos** como mejoradores o acondicionadores de los suelos por su contenido de materia orgánica y nutrientes o en cualquier actividad que represente un beneficio”.

Igualmente el numeral 4.16 especifica: “El generador podrá quedar exento de realizar el muestreo y análisis de alguno o varios de los parámetros establecidos en la presente Norma Oficial Mexicana, siempre y cuando la detección de éstos sea en cantidades menores que los límites máximos establecidos, o cuando por la procedencia de los lodos y biosólidos éstos no contengan los contaminantes regulados en la presente Norma Oficial Mexicana, en ambos casos, deberá manifestarlo ante la Secretaría por escrito y bajo protesta de decir verdad. La autoridad se reserva el derecho de verificar dicha información.

En este caso y por las características del sistema acuapónico no intensivo, será mínima la cantidad de lodos generados, mismos, que como se manifestó anteriormente, podrán ser controlados por el propio sistema, a través de biofiltros y si hubiere un exceso por alguna razón, se utilizará el clarificador.

Por otro lado, en caso de haber generación de lodos, estos estarán compuestos únicamente por materia orgánica derivada de las excretas de los peces y en ningún momento serán portadores de metales pesados, sustancias tóxicas o microorganismos patógenos que pusieran en peligro la salud humana, por lo que de acuerdo a la TABLA 3 de la Norma Oficial, estos lodos clase C-EXCELENTE O BUENO pueden ser aprovechados en usos forestales, mejoramientos de suelos y usos agrícolas.

11.3 Características esperadas del afluente

Por el sistema acuapónico, no habrá afluente debido a la recirculación constante del agua de los tanques de peces a las camas hidropónicas.

Alevines

Debido a la dificultad de conseguir alevines de otras granjas de la zona (no existen) los peces a cultivar serán los que se obtengan de dos parejas reproductivas que se tomarán de la laguna localizada en Andrés Quintana Roo, para lo cual se cuenta con la autorización de la SEMARNAT según la MIA correspondiente. Esta laguna es cuidada por la comunidad desde hace años, en ella se encuentra variada diversidad de peces nativos y su extracción no representaría ningún impacto significativo en la población de *Petenia splendida* que habita dicho cuerpo de agua debido al reducido número de ejemplares requeridos para iniciar el proceso de cría de esta especie y las elevadas densidades de la especie en la laguna.

12 BIBLIOGRAFÍA

- Ako, H.** 2014. How to Build and Operate a Simple Small-to-Large Scale Aquaponics System. Center for Tropical and Subtropical Aquaculture (CTSA). College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii At Manoa, Honolulu, Hawaii. Publication #161. file:///C:/Users/icruz_000/Desktop/Manual/documentos%20citas/ako,%20No.%20161CTSA_aquaponicsHowTo.pdf
- Alpizar, L.** 2008. Hidroponía cultivo sin tierra, técnica simple. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 108 p.
- Álvarez-González, C. A., Márquez-Couturier, G. Arias-Rodríguez, L., Contreras-Sánchez, W. M., Uscanga-Martínez, A., Perales-García, N., Moyano.López, F. J., Hernández-Jiménez, R., Civera-Cerecedo, R., Goytortua-Bores, E., Isidro-Olán, L., Almeida-Madrigal, J. A., Tovar-Ramírez, D., Gutiérrez-Ribera, J. N., Arévalo-Galán, L. M., Enric, G., Treviño, L. & Morales-Sánchez, B.** 2008. Avances en la fisiología Digestiva y Nutrición de la Mojarra Tenguayaca *Petenia splendida*. 135-235 pp. Avances en nutrición Acuícola IX. IX Simposio Internacional de Nutrición Acuícola. 24-27 noviembre. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León, México.
- Amador-del Ángel, L. E. & Wakida-Kusunoki, A. T.** 2014. Peces invasores en el sureste de México, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 425-433.
- Arriaza C., A. & Martínez C., J. L.** 2009. Producción hidropónica de lechuga integrada con el cultivo de tilapia con tres niveles de potasio y hierro. Proyecto Especial de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 14 p.
- Batllore-Sampedro, E.** 2016. Condiciones actuales del agua subterránea en la península de Yucatán. En: El manejo del agua a través del tiempo en la península de Yucatán. Chávez-Guzmán, M. (ed.) Universidad Autónoma de Yucatán Centro de Investigaciones Regionales Dr. Hideyo Noguchi Fundación Gonzalo Río Arronte IAP Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán. México.
- Boutwell, J.** 2007. USA: Recuperan Método de Acuaponía de los Aztecas. www.aquahoy.com/archivo/156/uncategorised/3079.
- CANEI (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras).** 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 110 pp.

- Cano-Alfaro, M. F.** 2008. Tolerancia del estadio juvenil de *Petenia splendida* Günther 1862 a diferentes salinidades. Universidad de San Carlos De Guatemala Facultad de ciencias químicas y farmacia. Informe de Tesis, Guatemala.
- Cano-Alfaro, M. F.** 2014. Rescue efforts on endangered fish species in Guatemala (in Spanish). Fish Consulting Group. The Place you Trust. <http://fishconsult.org/?p=11190>
- Caro, C., Mendosa, A. & Sánchez, M.** 1994. Caracterización del medio ambiente de *Petenia splendida* en lagunas del sur de quintana roo. En Memorias del II seminario sobre peces nativos, con uso potencial en acuicultura 23-26 de mayo 1994. Cardenas Tab.
- Carruthers, S.** 2015. Small-scale aquaponic food production. Practical Hydroponics and Greenhouses. 152: 42-46 pp.
- Colagrosso, A.** 2014. Instalación y manejo de sistemas de cultivo Acuapónicos a pequeña escala. Tesis de Investigación. Costa Rica: Prima edizione digitale. 65 p.
- Domínguez, S. & Rodiles, R.** 1998. *Guía de peces del río Lacanjá, Selva Lacandona, Chiapas, México*. Serie temática: Guías y catálogos de flora y fauna. Guías científicas ECOSUR, Chiapas, México. Editorial ECOSUR.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).** 2003. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación. Acuicultura: principales conceptos y definiciones.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).** 2014. Small-scale aquaponic food production – Integrated fish and plant farming : <http://www.fao.org/3/a-i4021e/>
- García, M.** 2003. Determinación de la temperatura preferencial y metabolismo de rutina de la tenguayaca (*Petenia splendida*, Günther 1862). Tesis profesional de Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. 42 p.
- Govoni, J. J. Boehlert, G. W. & Watanabe, Y.** 1986. The physiology of digestion in fish larvae. Environmental Biology of Fishes. 16, 59-77 pp.
- 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. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería Agronómica. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 15 p
- Hoekstra, A. Y.** 2008. Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints. Institute for water Education. UNESCO-IHE. Value of Water. Research Report Series No. 28. Delft, the Netherlands.

- Ixquiac-Cabrera, J. M.** 2010. Crecimiento del pez blanco (*Petenia splendida*) en tres hábitats: cultivo, lago (Petén Itzá) y en río San Pedro por medio de marcaje y recaptura. Proyecto FODECYT No. 74-2007. Guatemala.
- Juárez-Eusebio, A. J.** 2005. Sección VII. La acuicultura rústica. En P. Moreno-Casasola, E. Peresbarbosa-Rojas & A. C. Travieso-Bello (Ed.). Manejo costero integral: el enfoque municipal (989-1016). México, México D.F. Instituto Nacional de Ecología, A.C.
- Martínez-Yáñez, R.** 2013. La Acuaponía como alternativa de producción agropecuaria sostenible ¿Una posibilidad para tener en casa?. Investigación y ciencia. REDICINAYSA (2): 16-23.
- Mateus J.** 2009. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. (en línea) Red Hidroponía, Boletín No 44. 2009. p. 7-10. Consultado 15 jun. 2012. Disponible en línea en http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/redhidro/boletin44/44_acuaponia.pdf.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT. (2002).** Lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. México, México: Diario Oficial de la Federación.
- Pérez-Vega, M., Díaz, L., Hernández, S., López, S., Arredondo, J. y Ortíz, M.** 2004. Módulo de producción de crías de cíclidos nativos de importancia comercial, para el repoblamiento de zonas críticas en el Estado de Tabasco. México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Fondo Mixto Consejo Nacional de Ciencia y tecnología – CONACYT-, Gobierno del estado de Tabasco. 273-279 p.
- Pérez-Vega, M. H. Uribe-Aranzabel, M. C., García-Lorenzana, M., Romero Ramírez, M. C. & Arredondo Figueroa, J. L.** 2006. Description of the ovarian follicle growth of the neotropical cichlids *Petenia splendida* and *Parachromis managuensis* (Perciformes: Cichlidae). Journal of Applied Ichthyology. Vol. 22, (6): 515-520 pp.
- Rubio-Cabrera, S. G.** 2012. Análisis técnico de producción de tilapia *Oreochromis niloticus* y lechuga acrópolis *Lactuca sativa* en Acuaponía. Guasave, Sinaloa, México. Tesis de maestría, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, CIIDIR_IPN, Unidad Sinaloa.
- Ruiz-Fumagalli, J. R. & Kihn, H. A.** 2006. Determinación de los ciclos reproductivos de peces de importancia alimenticia del río San Pedro, Petén, Guatemala, para el establecimiento de sus temporadas de veda. VII Congreso Internacional sobre manejo de Fauna Silvestre Na Amazonia e América Latina. Ilheus, Brazil,. http://manejofaunasilvestre.org/Congresos/Ilheus-2006/2006Ilheus_8.aspx#3.
- Schmitter-Soto, J. J. & Gamboa-Pérez, H. C.** 1996. Composición y distribución de peces continentales en el sur de Quintana Roo, Península de Yucatán, México. Rev. Biol. Trop. 44 (1): 199-212.

- Schmitter-Soto, J. J.** 1998. Catálogo de los peces continentales de Quintana Roo. Colegio de la Frontera Sur, Chiapas, México.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A.** 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO. 262 pp.
- TECA-FAO (Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios, Food and Agriculture Organization of the United Nations).** 2014. Diseño de un sistema acuapónico: <http://teca.fao.org/es/read/8725>
- Tolón-Becerra, A. Lastra-Bravo, X. B. & Fernández-Membrive, V. J.** 2013. Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos. M+A. Revista electrónica de medioambiente. Universidad Complutense, Madrid, España. Vol. 14, No. 1.
- Uscanga-Martínez, A., Álvarez-González, C. A., Contreras-Sánchez, W. M., Márquez-Couturier, G., Civera-Cerecedo, R., Nolasco-Soria, H., Hernández-Llamas, A., Goytortúa-Bores, E. & Moyano, F. J.** 2012. Protein requirement in masculinized and non-masculinized juveniles of Bay Snook *Petenia splendida*. Hidrobiológica, 22(3): 219-228.
- Vidal-López, J. M., Álvarez-González, C. A., Contreras-Sánchez, W. M. & Hernández-Vidal, U.** 2009. Masculinización del cíclido nativo Tenhuayaca, *Petenia splendida* (Günther, 1862), usando nauplios de *Artemia* como vehículo del esteroide 17- α metiltestosterona. Hidrobiológica, 19(3): 211-216 pp.
- Waltzek, B. T., & Wainwright, C. P.** 2003. Functional morphology of extreme jaw protrusion in Neotropical cichlids. Journal of Morphology, 257, 96-106.