

Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala



Ing. Alessandro Colagrosso

Titolo | Instalación y manejo de sistemas de cultivo
acuaponicos a pequeña escala
Autore | Alessandro Colagrosso

ISBN | 978-88-93061-98-8

Prima edizione digitale: 2015

© Tutti i diritti riservati all'Autore

Youcanprint Self-Publishing
Via Roma 73 - 73039 Tricase (LE)
info@youcanprint.it
www.youcanprint.it

Este eBook no será objeto de comercio, comercio por menor
de préstamos y no puede difundirse en cualquier forma sin el
consentimiento previo por escrito del autor.

Cualquier uso no autorizado o la distribución es una violación
del derecho de autor y se penalizará en responsabilidad civil y
Penal según Ley 633/1941.

Índice de contenidos

Índice de cuadros	iv
Índice de figuras.....	v
Introducción	1
Capítulo 1. Generalidades de la acuaponía	4
Capítulo 2. Elementos de un sistema acuapónico	11
2.1 Tanque para cultivar los peces	11
2.2 Bomba de aireación	12
2.3 Bomba de agua	13
2.4 Biofiltro.....	14
2.5 Los sistemas de cultivos hidropónicos.....	16
Capítulo 3. Tipos de sistemas de cultivo hidropónicos.....	17
3.1 Sistema de camas con sustrato solido	17
3.2 Sistema de raíz flotante	18
3.3 Sistema de solución nutritiva recirculante.....	20
Capítulo 4. Instalación de un sistema acuapónico de camas con sustrato sólido	22
4.1 El tanque de agua	23
4.2 Las camas hidropónicas	25
4.3 Sistema de tuberías, bomba de agua y “timer”	29
4.4 El sustrato	34

4.5 El biofiltro	36
4.6 Activación y prueba del sistema	39
4.7 Esquema del sistema acuapónico	40
Capítulo 5. Manejo de un sistema acuapónico	42
5.1 Los peces	42
5.2 Las bacterias y la calidad del agua	43
5.3 Las plantas	47
5.4 Rutinas diarias y semanales	47
Capítulo 6. Manejo integrado de plagas y enfermedades de los cultivos acuapónicos	49
6.1 Introducción	49
6.2 Manejo de plagas y enfermedades	50
6.2.1 Combate Cultural	52
6.2.2 Combate Mecánico	53
6.2.3 Combate Biológico	53
6.3 Control de enfermedades de los peces	54
Capítulo 7. Costos de instalación y manejo de un sistema acuapónico	55
7.1 Análisis de los costos y beneficios del sistema acuapónico sembrando lechuga y tilapia	55
7.1.1 Costos de instalación	56
7.1.2 Egresos monetarios del sistema	56
7.1.2.1 Los peces	56
7.1.2.2 El alimento para tilapias	57

7.1.2.3 El análisis del agua	57
7.1.3 Ingresos monetarios del sistema.....	58
7.1.3.1 Lechugas	58
7.1.3.2 Tilapias	59
7.2 Conclusiones	59
Bibliografía	61

Índice de cuadros

Cuadro 7.1. Costo de los materiales empleados en la instalación del sistema acuapónico.	56
Cuadro 7.2. Costos de los insumos necesarios para el mantenimiento del sistema acuapónico durante un año sembrando lechugas y tilapia.	58

Índice de figuras

Figura 2.1. Bio-bola	14
Figura 2.2. Disposición en capas de las bio-bolas.	16
Figura 3.1. Camas hidropónicas con sustrato sólido.	18
Figura 3.2. Sistema hidropónico de raíz flotante.	19
Figura 3.3. Sistema de cultivo hidropónico de solución nutritiva recirculante.	20
Figura 4.1. Vista de un tanque de agua.	23
Figura 4.2. Eliminación de la parte superior del tanque.	24
Figura 4.3. Vista de la abertura del tanque.	24
Figura 4.4 Marco externo de la cama hidropónica.	25
Figura 4.5. Disposición de las tablas en el fondo de la cama.	26
Figura 4.6 Cama hidropónica.	27
Figura 4.7. Cama completa con orificio de salida del agua.	27
Figura 4.8. Cama hidropónica completa.	29
Figura 4.9. Tubería, accesorios y herramientas.	30
Figura 4.10. Disposición de las entradas de agua.	31

Figura 4.11. Entrada de agua.	31
Figura 4.12. Construcción de la salida de agua.	32
Figura 4.13. Vista de la salida de agua al momento del llenado de la cama.	32
Figura 4.14. Vista de la salida de agua al vaciarse la cama.	33
Figura 4.15. Bomba de agua.	33
Figura 4.16. Lavado del sustrato.	35
Figura 4.17. Llenado de las camas con sustrato.	35
Figura 4.18. Primera capa de bio-bolas.	37
Figura 4.19 Segunda capa de bio-bolas respetando un arreglo geométrico.	37
Figura 4.20. Vista de las capas de bio-bolas.	38
Figura 4.21. El biofiltro con material esponjoso.	38
Figura 4.23 Vista del sistema acuapónico completo.	39
Figura 4.25. Diagrama del sistema.	40
Figura 5.1. Tilapia cultivada en un sistema acuapónico. Fuente: Campos, 2013.	43
Figura 5.2. Componentes de un kit de análisis de agua.	45
Figura 5.3. Medición de la concentración de amonio.	46
Figura 5.6. Apio de cultivos acuapónicos.	47

Figura 6.1. Planta de lechuga afectada por el hongo Cercospora sp.....	51
---	----

Introducción

La acuaponía es una técnica de cultivo en la cual se obtienen peces y hortalizas en un mismo sistema de producción. Es la combinación de un sistema de acuicultura de recirculación con un sistema hidropónico en el cual las plantas reciben la mayoría de los nutrientes necesarios para su crecimiento directamente del agua de cultivo de los peces. Las excretas de los peces son ricas en nutrientes para las plantas pero tóxicas para los peces mismos, las plantas actúan como un filtro al absorber estas sustancias previamente tratadas por algunas bacterias benéficas. El papel de las bacterias es convertir las excretas de los peces en compuestos más aprovechables para las plantas y menos tóxicos para los peces.

Este sistema de cultivo ha sido ampliamente explotado a nivel comercial y casero alrededor del mundo debido a sus ventajas: reduce el consumo del agua en los cultivos a través del sistema de recirculación, genera una mayor sanidad de las hortalizas porque no se pueden utilizar agroquímicos debido a la presencia de peces en el sistema, representa un ahorro en el proceso productivo pues la mayoría de los

nutrientes para las hortalizas son producidos por los peces a través de las excretas.

La acuaponía representa no solo una fuente completa de alimentos de alta calidad, sino también una oportunidad para mejorar las condiciones socioeconómicas del ser humano, contribuyendo a la vez con la seguridad alimentaria.

A pesar de las ventajas que representa este sistema de producción alimentaria, en Costa Rica dicha tecnología aún no ha sido todavía investigada.

La presente guía *Instalación manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala* pretende ser un medio para la difusión de una técnica de cultivo poco conocida en Costa Rica, con menor impacto ambiental que se basa en la recirculación del agua sin uso de agroquímicos.

En esta guía se describen los aspectos técnicos para la instalación y el manejo de cultivos acuapónicos a pequeña escala. El autor pone a disposición del público en general esta guía en formato digital para su consulta. Además está a

completa disposición para recibir observaciones y preguntas al correo tikitalia@gmail.com.

Capítulo 1. Generalidades de la acuaponía

La acuaponía es la combinación de la acuicultura de recirculación con la hidroponía, definiendo acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos, e hidroponía como el cultivo de plantas que se desarrollan en un sustrato inerte, las cuales reciben los minerales aplicando soluciones de nutrientes (Guzmán y Moreno, 2005).

La hidroponía es el cultivo de plantas, principalmente hortalizas, sin usar suelo, que es substituido por un sustrato sólido constituido por materiales inertes como en el sistema de camas, o por agua como en el caso del sistema de raíz flotante y del sistema de solución nutritiva recirculante, este último también conocido como N.F.T. (nutrient film technique, por su sigla en inglés). Por ser inerte el sustrato de cultivo, las plantas hidropónicas se alimentan con una solución nutritiva en la cual se disuelven en agua las sales minerales que aportan a las plantas todo los elementos necesario para su desarrollo (Soto y Ramírez, 2002). Una vez formulada la solución nutritiva y diluida según el caso, se aplica en razón

de dos a tres litros por m² al día, seis días a la semana, dejando un día a la semana el riego con solo agua, esto para lavar el exceso de nutrientes acumulados en el sustrato (González, 2009).

Los sistemas productivos en acuicultura pueden ser extensivos o intensivos, dependiendo de la densidad de siembra, que se traduce en cuantos peces por m² se crían. Entre los sistemas intensivos se mencionan los sistemas acuícola de reúso y los sistemas de recirculación. En los sistemas de reúso el agua pasa de un estanque a otro, se mueve en una sola dirección, y nunca regresa al mismo estanque dos veces (Losordo y Timmons, 1994). La acuicultura de recirculación es un sistema en el cual el agua fluye desde los estanque de cultivos a los sistemas de tratamientos (filtración), para luego regresar nuevamente a los estanques de cultivo (Losordo y Timmons, 1994). La acuicultura de recirculación requiere menos del 10% de agua comparado con los proyectos de acuicultura extensivas y de reúso (Timmons *et al*, 2002), y en los cuales los efluentes son eliminados constantemente.

En el agua de los estanques de peces se encuentran disueltos 10 de los 13 nutrientes esenciales que las plantas necesitan. Las concentraciones de calcio, potasio y hierro son inferiores a las requeridas por las plantas y pueden suplirse al sistema acuapónico en forma de hierro quelatado (EDTA Fe), hidróxido de calcio y potasio, estos ultimo dos también actúan como regulador del pH en caso de acidificación del agua (Racocy, 1988).

En resumen, la acuaponia es un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) sirven como fuente de alimento para las plantas. Estas a su vez al tomar estos desechos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico (Ramírez *et al*, 2008). La acuaponia es una técnica de producción intensiva, bio-integrada (Diver, 2000) y altamente productiva en la cual se obtienen peces y hortalizas en un mismo sistema de producción, Mateus (2009) señala que por cada tonelada de pescado producida en sistemas acuapónico se obtienen hasta 7 toneladas de vegetales.

De acuerdo a Adler citado por Iturbide (2008) la acuaponia tiene algunos principios que la gobiernan estos son:

- Los productos de desechos de un sistema biológico sirven como nutrientes para un segundo sistema biológico.
- La integración de peces y plantas resulta en un policultivo que incrementa la diversidad y la producción de múltiples productos (policultivo).
- El agua es reutilizada a través de filtración biológica y la recirculación.
- La producción local de alimentos provee acceso a alimentos más saludables e incrementa la economía local.

Existe un creciente interés a nivel mundial sobre la integración de las técnicas de producción de cultivos hidropónicos y cultivos acuícolas (Grande y Luna, 2010).

Los sistemas acuapónicos utilizan principalmente tres tipos de sistemas de crecimiento para las plantas, los mismos que son utilizados en hidroponía: camas con sustrato sólido, sistemas de raíz flotante y técnicas de solución nutritiva recirculante (Nutrient Film Technique), (Ramírez *et al*, 2008).

Los principales componentes de un sistema acuapónicos descritos por Racocy *et al* 2006, Nelson 2008 y Mateus 2009 son:

El Tanque para cultivar los peces.

La bomba de aireación para proveer de oxígeno a los peces.

La bomba de agua para dirigir el agua desde el tanque de los peces a los cultivos hidropónicos y de vuelta al tanque de peces en un sistema cerrado de recirculación.

El biofiltro para albergar las bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) que convierten el amonio en nitrito y el nitrito en nitrato.

El sistema de cultivos hidropónicos (camas con sustrato sólido, sistemas de raíz flotante, técnicas de solución nutritiva recirculante). En los sistemas comerciales se encuentran otros componentes tales como el degasificador que elimina los excesos de CO₂ y el sedimentador que elimina los sólidos disueltos. A pequeña y mediana escala estos elementos no son indispensables.

Con respecto a la relación entre la superficie de cultivo de plantas y la superficie de cultivo de peces, esta varía desde 2:1 hasta 10:1 o más dependiendo de la producción diaria de desechos por parte de los peces (Racocy, 2002). Lo anterior significa que por cada metro cúbico de agua de cultivo de peces se pueden incorporar al sistema, de dos a diez metros cuadrados de área de cultivo hidropónicos. Mientras que la

capacidad de carga de peces, en un cultivo acuapónico, es de un pez de 500 g por cada 20-40 litros (Bernstein, 2011).

La especie de pez más utilizada en proyectos de acuaponia es la tilapia, por su tolerancia a las fluctuaciones de los parámetros del agua como son el pH, temperatura y sólidos disueltos (Iturbide, 2008). Algunas experiencias exitosas de cultivo con la tilapia son las siguientes:

Cultivo de tilapia con lechuga (Racocy, 1988) y tilapia con albahaca por Racocy *et al* (2003), en las instalaciones de la Universidad de las Islas Vírgenes.

Cultivo de tilapia con lechuga en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras por Grande y Luna (2010).

Cultivo de tilapia y pepino, en la Universidad Autónoma de Guadalajara (García *et al*, 2005).

Otras especies de peces utilizadas en los cultivos acuapónicos incluyen la cahama (*Colossoma macropomum*), carpa koi (*Cyprinus carpio*), Murray code (*Maccullochella peelii*) (Ramírez *et al*, 2008), *Carassius auratus* (Ramírez *et al*, 2009), trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), perca

europaea (*Perca fluviatilis*), Artic char (*Salvelinus alpinus*), (Iturbide, 2008).

Las especies vegetales cultivadas en acuaponia, reportadas por Ramirez *et al* (2008), son la albahaca (*Ocimum basilicum*), la lechuga (*Lactuca sativa*), la menta (*Mentha arvensis*, *M. citrata*, *M. piperita*, *M. spicata*), el tomate (*Lycopersicon esculentum*) y el orégano (*Origanum vulgare*).

Capítulo 2. Elementos de un sistema acuapónico

Como se mencionó en el capítulo anterior, los principales componentes de un sistema acuapónico descritos por Racocy *et al* (2006), Nelson (2008) y Mateus (2009) son:

2.1 Tanque para cultivar los peces

El tanque para cultivar los peces es un componente indispensable en un sistema acuapónico (Nelson, 2008). En este componente se desarrollarán los peces que se han escogido por lo que es necesario que sea de un material resistente, que sus dimensiones sean proporcionales al número y el tamaño de los peces. Asimismo, debe tomarse en cuenta que el área del tanque es más importante que su altura, pues los peces se desplazan más en forma horizontal que vertical.

Estos tanques pueden ser desde peceras de vidrio o acrílicas, barriles plásticos, tanques plásticos o piletas de concreto y el volumen puede variar desde pocos litros a varios metros cúbicos. Es esencial 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.

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 (Bernstein, 2011); 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.

2.2 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

putrefacción 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; además es necesario que la bomba de aireación esté funcionando las 24 horas, sin interrupciones.

2.3 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 estos la reenvía de vuelta al tanque en un sistema cerrado de recirculación. La circulación del agua generada por la bomba, garantiza que las plantas y las bacterias 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 “timer” 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, por lo que la escogencia del tipo de bomba

dependerá de las particularidades del sistema acuapónico, esto es, número de tanques y camas, distancia entre estos, etc; no pudiendo generalizarse la forma de elegir la bomba adecuada.

2.4 Biofiltro

El biofiltro es un contenedor que alberga materiales porosos como piedra, esponjas o bio-bolas. Las bio-bolas son elementos plásticos diseñados para ofrecer una considerable superficie a las bacterias y actuar como filtro mecánico al recoger las partículas en suspensión.



Figura 2.1. Bio-bola.

El biofiltro sirve 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 este 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.

Es un componente opcional en aquellos sistemas acuapónicos que usan camas con sustratos sólidos, pero resulta indispensables para los sistemas de raíz flotante o los de solución nutritiva recirculante (N.F.T.).

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. 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.

La siguiente figura enseña la disposición en capas de las bio-bolas para que actúen como filtro biológico y filtro mecánico.

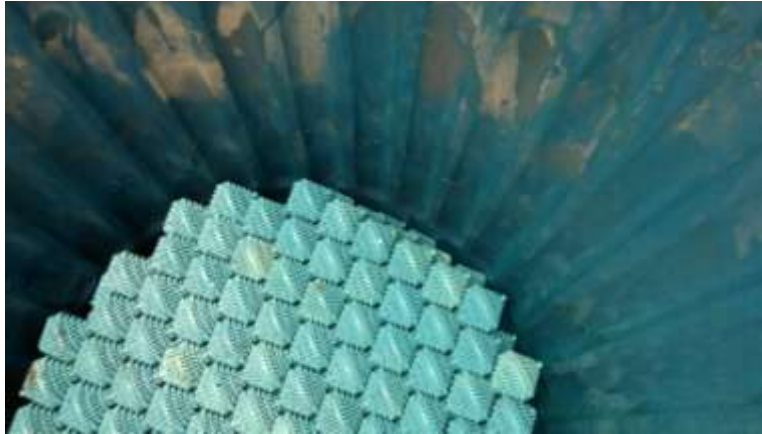


Figura 2.2. Disposición en capas de las bio-bolas.

Las bio-bolas pueden ser sustituidas por material poroso como piedras o esponjas.

2.5 Los sistemas de cultivos hidropónicos

Los principales sistemas de cultivos hidropónicos utilizados de acuaponía son: sistema de camas con sustrato sólido, sistemas de raíz flotante y técnicas de solución nutritiva recirculante. Estos sistemas serán descritos en el siguiente capítulo.

Capítulo 3. Tipos de sistemas de cultivo hidropónicos

Como se mencionó al final del capítulo 2, los principales sistemas de cultivo hidropónico utilizados en acuaponía son el sistema de camas con sustrato sólido, el sistema de raíz flotante y el sistema de solución nutritiva recirculante, los cuales serán descritos a continuación.

3.1 Sistema de camas con sustrato sólido

En este sistema se utiliza un medio sólido (sustrato) para el soporte de las raíces de las plantas (Alpizar, 2004). 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, 2004). Además en los sistemas acuapónicos, el sustrato suficientemente poroso es el lugar donde se desarrollan las bacterias nitrificadoras. Los contenedores más utilizados en este sistema se llaman camas y se pueden observar en la figura siguiente.



Figura 3.1. Camas hidropónicas con sustrato sólido.

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.

3.2 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.

En la figura 3.2 se presenta una cama hidropónica de raíz flotante. Como se puede notar una lámina de estereofón

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



Figura 3.2. Sistema hidropónico de raíz flotante.

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, a diferencia de las camas hidropónicas de raíz flotante, las utilizadas en acuaponía necesitan una entrada y una salida de agua, para la recirculación de la misma.

3.3 Sistema de solución nutritiva recirculante

Es el sistema de cultivo hidropónico más utilizado a nivel comercial (Alpizar 2004). En la producción a gran escala es de alta eficacia, 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, un sistema automatizado de bombeo y de un sistema de tubos interconectados a los cuales se le han realizados orificios para asentar las canastitas que contendrán las plantas.



Figura 3.3. Sistema de cultivo hidropónico de solución nutritiva recirculante.

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.

Capítulo 4. Instalación de un sistema acuapónico de camas con sustrato sólido

En Internet como en los textos de acuaponía existentes en el mercado, se encuentran un sinnúmero de diseños y proyectos de sistemas acuapónicos; sin embargo, la mayoría de estos tienen la desventaja de utilizar materiales caros o no disponible en el país. En otros casos no se detalla la construcción del mismo.

Lo que a continuación se presenta es la descripción de un sistema acuapónico que se puede realizar con materiales asequibles en ferreterías, depósitos de construcción, agroservicios y aserraderos. Dicho sistema acuapónico está constituido por un tanque de agua, tres camas hidropónicas rectangulares y un sistema de bombeo automatizado. Con fines didácticos se añadió al sistema un biofiltro, que como se mencionó anteriormente, es un componente opcional cuando se usan camas con sustrato sólido.

4.1 El tanque de agua

Se recomienda utilizar tanques o contenedores plásticos que no hayan sido empleados para transportar sustancias tóxicas o peligrosas, pues estas podrían perjudicar la salud de las personas, los peces y las plantas. La mejor opción son aquellos contenedores utilizados para transportar alimentos.



Figura 4.1. Vista de un tanque de agua.

Una vez escogido el tanque se procede a realizar una apertura en la parte superior.



Figura 4.2. Eliminación de la parte superior del tanque.

La eliminación de la parte superior puede ser total o parcial, lo importante es que la abertura sea lo suficientemente amplia como para permitir la liberación de los peces, la limpieza del tanque, la captura de los peces que se quieren cosechar, la remoción de los peces muertos, como el adecuado mantenimiento del tanque.



Figura 4.3. Vista de la abertura del tanque.

Completado lo anterior, se procede con la construcción de las camas hidropónicas.

4.2 Las camas hidropónicas

La madera es el material principal con el cual se construyen las camas hidropónicas, esta puede provenir de aserraderos, depósitos de materiales, madera de desecho, etc. El espesor de la madera tiene que ser proporcional al tamaño final de la cama y al peso del sustrato que soportará, a mayor tamaño de la cama mayor espesor de la madera, debiendo también utilizarse clavos o tornillos del grosor adecuado.

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



Figura 4.4 Marco externo de la cama hidropónica.

Terminado el marco externo, se procede a completar el fondo de la cama.



Figura 4.5. Disposición de las tablas en el fondo de la cama.

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 4.6 Cama hidropónica.

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 orificio, deberá ser el mismo que el de la tubería que se utilizará para el desagüe del agua.



Figura 4.7. Cama completa con orificio de salida del agua.

Tal y como se observa en la figura anterior, una vez construida la cama esta debe ser forrada con plástico. La escogencia de este es importante para el cuidado y conservación de las camas hidropónicas, en ese sentido, se aconseja utilizar uno que ofrezca el grosor y la resistencia adecuada para este tipo de proyectos como lo es el plástico tipo salinero utilizado en hidroponía y de venta en los agroservicios. Sin embargo, si ya se tiene a disposición plástico negro de construcción, que esté limpio e íntegro, puede ser empleado.

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



Figura 4.8. Cama hidropónica completa.

Completada la construcción y el forrado de las camas, se procede a posicionar estas y el tanque en el lugar donde se quiere instalar el sistema acuapónico, para seguir luego con la instalación del sistema de tuberías y el llenado de las camas con el sustrato.

4.3 Sistema de tuberías, bomba de agua y “timer”

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

Se recomienda utilizar principalmente tuberías y accesorios del diámetro de 1/2 pulgada, no solo por ser el diámetro más barato sino porque se consiguen fácilmente todo tipo de accesorios como son codos, llaves de paso y otros.



Figura 4.9. Tubería, accesorios y herramientas.

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



Figura 4.10. Disposición de las entradas de agua.



Figura 4.11. Entrada de agua.

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



Figura 4.12. Construcción de la salida de agua.

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 4.13. Vista de la salida de agua al momento del llenado de la cama.



Figura 4.14. Vista de la salida de agua al vaciarse la cama.

Terminada la construcción de las tuberías se procede a conectarlas con la bomba y la bomba al “timer” si se quiere automatizar el sistema.

El tamaño y potencia de la bomba así como su programación pueden variar de proyecto a proyecto.



Figura 4.15. Bomba de agua.

4.4 El sustrato

Una vez concluido el montaje del sistema y conectadas todas las tuberías a los componentes del sistema, 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 las bacterias benéficas.

Se recomienda utilizar piedra quintilla, ya que tiene la ventaja de que funciona no solo como un sustrato estable, inerte, poroso (lo cual ofrece a las bacterias mayor espacio para su colonización y una adecuada retención de humedad y nutrientes), sino que además es barato y relativamente fácil de adquirir; aunque tiene el inconveniente de que viene con una gran cantidad de partículas finas las cuales deben ser removidas mediante el lavado.



Figura 4.16. Lavado del sustrato.

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 este y ofrecer a las bacterias mayor superficie, se recomienda colocar sobre el plástico, material de relleno para edredones.



Figura 4.17. Llenado de las camas con sustrato.

En los sistemas acuapónicos se puede utilizar cualquier sustrato que sea poroso, inerte, estable, económico y fácil de conseguir. Sin embargo, a diferencia de los sustratos hidropónicos, los cuales pueden ser mezclas de diferentes materiales como por ejemplo fibra de coco, granza de arroz, carbón y piedra, en proporciones que garanticen un balance entre retención y drenaje; en acuaponía es recomendable no utilizar estas mezclas, porque por ejemplo, la presencia de granza de arroz y carbón pueden obstruir las tuberías y ensuciar el agua sin aportar ningún beneficio al sistema, pues mientras en la hidroponía parte de la solución nutritiva que se vierte en la cama es retenida por el sustrato y absorbida por las plantas drenándose el resto por el orificio de salida, en un sistema acuapónico, el agua sale del tanque de los peces llega a las camas y regresa de nuevo al tanque en un sistema continuo de recirculación, en el cual, las partículas en suspensión pueden afectar el sistema en su totalidad.

4.5 El biofiltro

Para optimizar el desempeño de la filtración mecánica y biológica del sistema se puede agregar un biofiltro, el cual consta de un contenedor plástico que se llena hasta la mitad

de su volumen con capas de bio-bolas o con material esponjoso según se muestra a continuación.



Figura 4.18. Primera capa de bio-bolas.

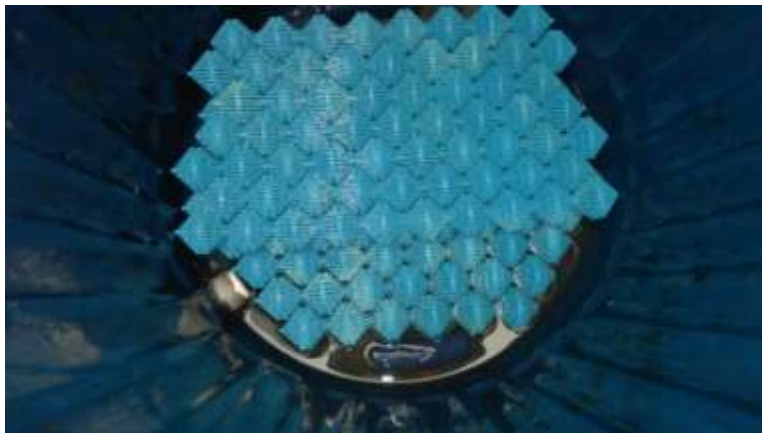


Figura 4.19 Segunda capa de bio-bolas respetando un arreglo geométrico.



Figura 4.20. Vista de las capas de bio-bolas.



Figura 4.21. El biofiltro con material esponjoso.



Figura 4.22. Entrada y salida de agua del biofiltro.

4.6 Activación y prueba del sistema

Terminada la construcción del sistema se activa la bomba o el “timer” 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 4.23 Vista del sistema acuapónico completo.

4.7 Esquema del sistema acuapónico

Para una mejor comprensión del sistema y de su funcionamiento, a continuación se ofrece un esquema y una breve descripción.

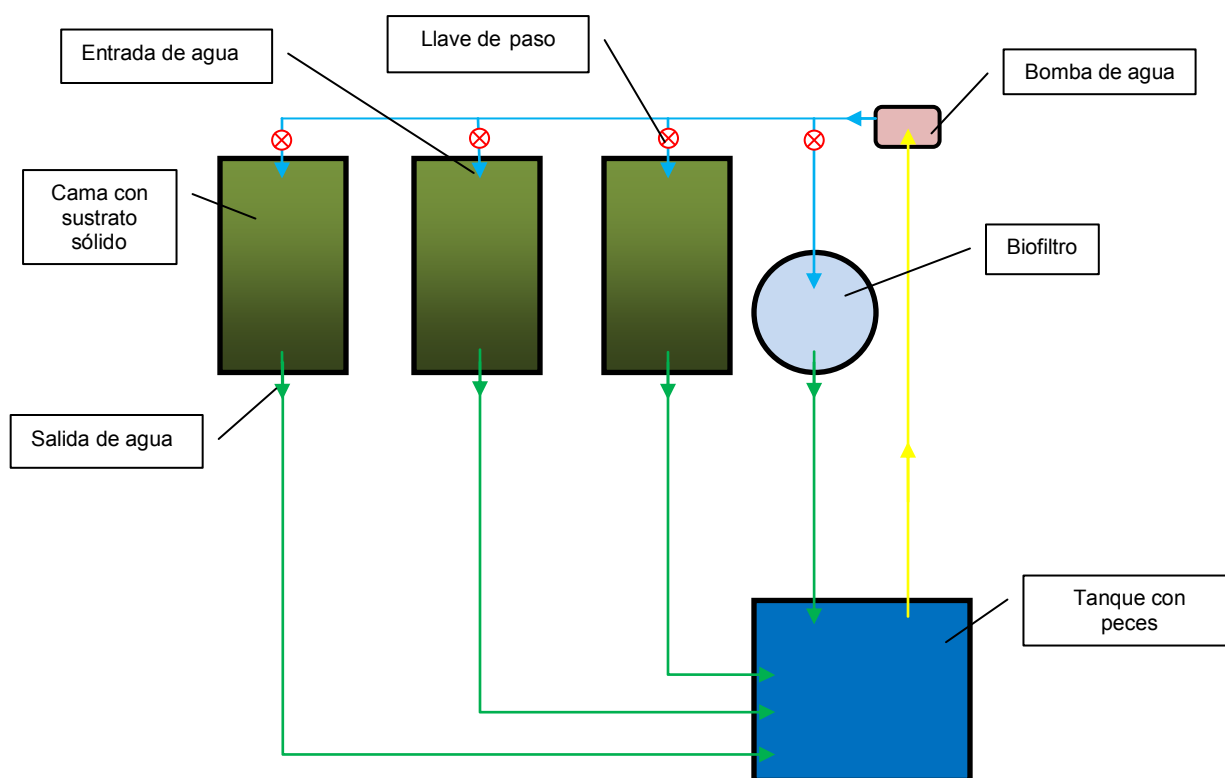


Figura 4.25. Diagrama del sistema.

Al activarse la bomba, el agua es dirigida desde el tanque de los peces hasta la bomba (líneas 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).

Capítulo 5. Manejo de un sistema acuapónico

5.1 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. Lo más importante es escoger la especie que más se adapte a la temperatura y la calidad de agua del sistema.

En Costa Rica se pueden conseguir una gran variedad de peces ornamentales, de diferentes tamaños y según las necesidades en cuanto a temperatura y calidad de agua del cultivo; y en cuanto a los comestibles, se puede conseguir principalmente dos especies de agua dulce: la trucha y la tilapia.

La trucha es ideal para una temperatura entre los 10 y 15 grados centígrados (Boghen, 1995), es una especie muy exigente en cuanto a calidad del agua y necesita altos niveles

de oxígeno disuelto. Mientras que la tilapia, es una especie poco exigente en cuanto a la calidad del agua y tolera temperaturas que van desde los 9 a los 33 grados centígrados (Chacón, 2002) aunque su crecimiento se reduce por debajo de los 16 grados centígrados (Otarola y Ramírez, S.F.). 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 acuapónicos (Racocy, 2012).



Figura 5.1. Tilapia cultivada en un sistema acuapónico. Fuente: Campos, 2013.

5.2 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 en forma natural. Sin embargo, si se desea acelerar ese proceso natural de colonización, se puede añadir agua de una pecera o conseguir las bacterias en acuarios especializados. Las bacterias no son visibles al ojo humano, se necesita el auxilio de microscopios.

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. De esta forma, la concentración de amonio tiende a bajar y aumenta el nivel de nitritos; a este punto comienzan a aparecer las bacterias *Nitrobacter* sp. que transforman los nitritos en nitratos.

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 y Luna (2010) consideran una concentración de nitratos de 40 ppm para sembrar.

En los acuarios se pueden conseguir los kit 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.



Figura 5.2. Componentes de un kit de análisis de agua.

En la figura se observa que un kit de análisis de agua está compuesto principalmente por pequeñas botellas que contienen las soluciones indicadoras (izquierda), tubos de ensayos (superior derecha), pipeta y tabla de colores con los niveles de pH y concentraciones en partes por millón (ppm) de nitrito, nitrato y 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.

En la figura siguiente la coloración obtenida indica una concentración de 1 ppm de amonio.



Figura 5.3. Medición de la concentración de amonio.

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 físico-químicas del agua.

5.3 Las plantas

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.



Figura 5.6. Apio de cultivos acuapónicos.

5.4 Rutinas diarias y semanales

Las principales rutinas que se aconsejan llevar diariamente son las siguientes:

Alimentación de los peces.

Remoción de peces muertos.

Control del nivel del agua y llenado del faltante.

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.

Cuando los niveles de amonio y nitritos sean superiores a los tolerados por la especie de peces cultivados, 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.

Capítulo 6. Manejo integrado de plagas y enfermedades de los cultivos acuapónicos

6.1 Introducción

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.

Como todo cultivo agrícola, las hortalizas están sujetas al ataque de plagas y enfermedades, las cuales comprometen el nivel de producción (Oerke *et al.* 1994).

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 (Arauz, 2011), 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 (Bertsch, 1998).

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.

6.2 Manejo de plagas y enfermedades

Al igual de los cultivos agrícolas convencionales, también los cultivos acuapónicos sufren pérdidas por los ataques de plagas y enfermedades.

El control de las plagas y enfermedades, en la agricultura convencional, se realiza principalmente mediante el uso de agroquímicos, lo cual implica un alto costo tanto económico como ambiental (Arauz, 2011).

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 (Galindo, 2008).

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.



Figura 6.1. Planta de lechuga afectada por el hongo *Cercospora* sp.

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:

6.2.1 Combate 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 combate 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 combate cultural y consiste en sembrar diferentes tipos de hortalizas en un mismo lugar o en la misma cama.

6.2.2 Combate 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.

6.2.3 Combate 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 combate, 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.

6.3 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.

Capítulo 7. Costos de instalación y manejo de un sistema acuapónico

7.1 Análisis de los costos y beneficios del sistema acuapónico sembrando lechuga y tilapia

A continuación se ofrece una proyección de costo-beneficio de un sistema acuapónico utilizando lechuga y tilapia y considerando una área de siembra disponible es de 4,5 metros cuadrados y un tanque de 1.000 litros.

Se estimó en un 10% el porcentaje promedio de pérdidas en los dos cultivos, desarrollados en condiciones climáticas normales.

En este análisis no se considera la mano de obra como un costo ya que las actividades de construcción y manejo del sistema son llevadas a cabo por los componentes del núcleo familiar.

7.1.1 Costos de instalación

Los costos de instalación del sistema son los siguientes:

Cuadro 7.1. Costo de los materiales empleados en la instalación del sistema acuapónico.

	Costo en colones
Tanque de 1.000 litros	60.000
Bomba de agua	41.500
Bomba de aire	15.000
Plástico	1.500
Madera para las camas	43.000
Tuberías	30.000
Timer	42.000
Sustrato	18.000
Total	251.000

Estimando que los materiales utilizados tengan una vida útil de 5 años, esto significa un gasto de 50.200 colones al año o de 4.185 colones al mes.

7.1.2 Egresos monetarios del sistema

7.1.2.1 Los peces

Se estiman dos siembras y dos cosechas de peces al año de cien peces cada una. Si se considera una mortalidad del 10%, tomando previsiones para controlar posibles enfermedades y logrando la temperatura adecuada en el estanque, con ello cada seis meses se obtendrían peces con

un peso promedio de 150-200 gramos cada uno, esto es, 13 kilogramos de peces por cosecha para un total de 26 kilogramos al año.

7.1.2.2 El alimento para tilapias

Se necesita un promedio de 1,4 kilogramos de alimento para obtener 1 kilogramo de pez por cosecha (Racocy, 2002), de manera que para obtener estos 26 kilos anuales de peces de 150-200 gramos cada uno, son necesarios 36,4 kilogramos de alimento anual (menos de dos sacos de 25 kilogramos por año).

7.1.2.3 El análisis del agua

Un test de análisis de agua permite un promedio de 115 mediciones por parámetro, de manera que si se utiliza una vez por semana, rinde lo suficiente para realizar análisis de agua por más de dos años.

Cuadro 7.2. Costos de los insumos necesarios para el mantenimiento del sistema acuapónico durante un año sembrando lechugas y tilapia.

Insumo	Precio unitario en colones	Cantidades anuales	Precio total en colones
100 alevines	4.500	2	9.000
Alimento (kilos)	720	37	26.640
Test de análisis del agua	80	210	16.800
<i>Trichoderma</i> sp. en galón	7.500	4	30.000
Repelente natural	2.670	8	21.360
Electricidad	1660	12	19.920
Agua	1000	6	6.000
Almácigos de lechuga (bandejas de 200)	2000	8	16.000
Total			145.720

Ese costo anual de manejo por 145.720 colones, representa un costo por mes de 12.143 colones.

7.1.3 Ingresos monetarios del sistema

Considerando solamente la siembra de lechugas y tilapia en el sistema, se obtendrían los siguientes ingresos monetarios:

7.1.3.1 Lechugas

Las camas permiten un área de siembra de 4,5 metros cuadrados, considerando una densidad de siembra de 20 unidades por metro cuadrado, esto equivale a 90 lechugas en total.

Si el tiempo promedio de cultivo de una lechuga (variedad Verónica) es de 45 días, esto permite 8 cosechas al año, que a su vez significan 720 lechugas al año. Con una pérdida promedio del 10% se cosechan 648 lechugas al año.

Con un valor promedio de 275 colones por lechuga se obtendrían 178.200 colones al año o 14.850 colones al mes con la venta de lechugas.

7.1.3.2 Tilapias

Considerando un valor de mercado para la tilapia entera de 3.000 colones el kilogramo, los 26 kilogramos de tilapia cosechados anualmente valdrían 78.000 colones, lo que representa un ingreso de 6.500 colones por mes.

Al sumar los ingresos de las tilapias y las lechugas, se obtienen ingresos de 256.200 colones anuales o 21.350 mensuales.

7.2 Conclusiones

Sumando los. 4.185 colones al mes por la construcción del sistema más los 12.143 colones mensuales de

mantenimiento, se calcula que este sistema de producción tiene un costo mensual de producción de 16.328 colones.

Considerando que los ingresos mensuales ascienden a 21.350 colones y que los costos o egresos mensuales representan 16.328 colones, se obtiene una utilidad neta de 5.022 colones al mes por un área total de cultivos (tilapias y lechuga) de 5,5 metros cuadrados, que representa una utilidad neta por metro cuadrado de producción de 1.150 colones al mes.

Es necesario añadir a este valor monetario lo que representa comer alimentos sanos, nutricionalmente completos y libres de agroquímicos. Además, si esta actividad es realizada por todo el núcleo familiar o una comunidad, tiene un importante valor social y ambiental, valores que trascienden lo económico.

Bibliografía

Bernstein, S. 2011. Aquaponic gardening: a step by step guide to raising vegetable and fish together. 1^a ed. Gabriola Island, CA, New Society Publisher. 255 p.

Diver, S. 2000. Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture . (en línea) ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service. 20 p. Consultado 18 mayo 2012. Disponible en línea en <http://www.backyardaquaponics.com/Travis/Attra%20Aqua.pdf>

García Ulloa, M; León, C; Hernández, F; Chávez, R. 2005. Evaluación de un sistema experimental de acuaponia. (en línea) Avances en investigación agropecuaria. 9(1) 1-5. Universidad de Colima, Colima. MX. Consultado 24 jun. 2012. Disponible en línea en <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/837/83709105.pdf>

González, R. 2009. Huerta casera, manual de hidroponía popular. San José, CR, EUNED. 84 p.

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. 23 p.

Guzmán RL Moreno LA. 2005. La acuaponia una estrategia interdisciplinaria generadora de conocimientos en la escuela normal de Gachetá. 5 p. (en línea) Consultado 2 jul. 2012. Disponible en línea en <http://escuelanormalsuperiordegacheta.files.wordpress.com/2011/05/articulo-normal-gacheta.pdf>

Iturbide Dormon, 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. 74 p.

Losordo, TM; Timmons, MB. 1994. An introduction to water reuse systems. *In* Aquaculture water reuse systems: engineering design and management. Eds. MB. Timmons; TM. Losordo. Amsterdam, NL, Elsevier. p. 1-7.

Lucas, JS; Southgate PC. 2012. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. Oxford, UK, Blackwell Publishing Ltd. 629 p.

Mateus J. 2009. Acuaponía: hidroponía y acuacultura, 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

Nelson, LR. 2008. Aquaponics food production. Raising fish and profit. 1a ed. Montello, US, Nelson and Pade, Inc. 218 p.

Rakocy, JE. 1988. Hydroponic lettuce production in a recirculating fish culture system. (en línea) Aquaponics Global. Consultado 2 jun. 2012. Disponible en línea en <http://aquaponicsglobal.com/wp-content/uploads/2012/02/Hydroponic-Lettuce-Production-in-a-Recirculating-Aquaculture-system.pdf>

Rakocy, JE. 2002. Aquaponics: vegetable hydroponics in recirculating systems. In Recirculating Aquaculture Systems.

2a ed. 2nd Ed. Eds. MB. Timmons; JM. Ebeling; FW. Wheaton; ST. Summerfelt; BJ. Vinci. Ithaca, US, Cayuga Aqua Ventures. p 631-672.

Rakocy JE; Shultz, RC; Bailey, DS; Thoman, ES. 2003. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. 6 p. (en línea). Consultado 2 jun. 2012. Disponible en línea en <http://aquaponicsglobal.com/wp-content/uploads/2012/02/Aquaponic-Production-of-Tilapia-and-Basil.pdf>

Rakocy, JE; Masser, M; Losordo, TM. 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture. (en línea). SRAC Publication No. 454. 16 p. Consultado 5 jun. 2012. Disponible en línea en <https://srac.tamu.edu/index.cfm/event/getFactSheet/whichfactsheet/105/>

Ramírez, D; Sabogal, D; Jiménez, P; Hurtado, H. 2008. La acuaponía: una alternativa al desarrollo sostenible. Revista de biología. Universidad Militar de Nueva Granada. 4(1):32-51.

Ramírez, D; Sabogal, D; Gómez, E; Rodríguez D; Hurtado, H. 2009. Montaje y evaluación preliminar de un sistema acuapónico goldfish-lechuga. Universidad Militar de Nueva Granada. 5(1):154-170.

Soto Bravo, F; Ramírez Azofeifa, M. 2002. Hidroponía. San José, CR, Instituto Nacional de Aprendizaje. 109 p.

Timmons, MB; Ebeling, JM; Wheaton, FW; Summerfelt, ST; Vinci, BJ. 2002. Recirculating Aquaculture Systems. 2a ed. Ithaca, US, Cayuga Aqua Ventures. 769 p.